



TUGAS AKHIR - SS 145561

ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI PUPUK SUPER DOLOMIT DI PT POLOWIJO GOSARI

DIMAS FASHIHATIN
NRP 1313 030 037

Dosen Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti, M.T

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - SS 145561

**ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI PUPUK SUPER
DOLOMIT DI PT POLOWIJO GOSARI**

**DIMAS FASHIHATIN
NRP 1313 030 037**

**Dosen Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti, M.T**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - SS 145561

**CAPABILITY PROCESS ANALYSIS OF SUPER DOLOMITE
FERTILIZER PRODUCTION IN PT POLOWIJO GOSARI**

**DIMAS FASHIHATIN
NRP 1313 030 037**

**Supervisor
Dra. Lucia Aridinanti, M.T**

**DIPLOMA III STUDY PROGRAM
DEPARTMENT OF STATISTICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI PUPUK SUPER DOLOMIT DI PT POLOWIJO GOSARI

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada

Program Studi Diploma III Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIMAS FASHIHATIN

NRP. 1313 030 037

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dra. Lucia Aridinanti, M.T

NIP. 19610131 198701 2 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS



Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JUNI 2016

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarokatuh.

Alhamdulillahirobbil'alamin. Penulis ucapkan Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk Super Dolomit di PT Polowijo Gosari”** dengan baik, lancar dan tepat waktu.

Keberhasilan penyelesaian laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari partisipasi dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M T selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu, perhatian, bimbingan dan pengarahan dengan begitu baik selama menyelesaikan Tugas Akhir ini dan semoga senantiasa diberkahi oleh-Nya.
2. Ibu Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si dan Bapak Dedy Dwi Prastyo, S.Si, M.Si selaku tim penguji yang telah memberikan ilmu, kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Jurusan Statistika ITS yang telah memfasilitasi penulis selama menuntut ilmu di Jurusan Statistika ITS
4. Bapak Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si selaku Ketua Prodi DIII Statistika yang selalu memotivasi penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
5. Ibu Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT dan seluruh Bapak-Ibu dosen Statistika, atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan, serta seluruh staf dan karyawan Jurusan Statistika ITS atas pelayanannya selama ini.
6. PT Polowijo Gosari yang telah dengan mudahkan dalam memperoleh data untuk Tugas Akhir penulis.

7. Pak Junaedi, Pak Tarmudzi, Bu Diah, serta seluruh staf dan karyawan PT Polowijo Gosari yang telah membantu penulis selama melakukan penelitian di PT Polowijo Gosari.
8. Ayah, Ibu dan Keluarga Besar Penulis atas do'a dan kasih sayang yang begitu besar sehingga Penulis terus memiliki kekuatan dan semangat dalam menjalani proses perkuliahan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Rony Mardiono selaku orang terdekat yang selalu memberikan dukungan, semangat dan motivasi dalam menyusun Tugas Akhir ini
10. Umi Kultsum, Nanda Eka Putri, dan Rika Dina Diana selaku teman kos yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan motivasinya selama ini.
11. Seluruh PH dan Kabinet HIMADATA-ITS 2015/2016 yang telah menemani untuk menyusun laporan Tugas Akhir penulis.
12. Teman-teman seperjuangan DIII PW 114 atas kebersamaan dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan segala motivasi, bantuan dan semangatnya.
13. Teman-teman Senior, adek-adek angkatan 2014-2015 yang telah memberikan begitu banyak pengalaman di Statistika.
14. Serta semua pihak yang telah banyak membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis dibalas dengan kebaikan yang lebih oleh Allah SWT. Amin. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis, pembaca, dan semua pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarokatuh.

Surabaya, Juni 2016

Dimas Fashihatin

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Analisis Kapabilitas Proses	5
2.2 Statistika Deskriptif	5
2.2.1 Rata-rata	5
2.2.2 Varians.....	6
2.2.3 Minimum dan Maksimum	6
2.2.4 Histogram	6
2.3 Peta Kendali	7
2.3.1 Perbandingan Beberapa Populasi	7
2.3.2 Peta Kendali <i>Generalized Variance</i>	11
2.3.3 Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i>	12
2.2.4 Pemeriksaan dan Pengujian Asumsi.....	16
2.3 Indeks Kapabilitas Proses.....	19
2.4 Proses Produksi Pupuk Super Dolomit.....	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Variabel Penelitian	23
3.2	Langkah Analisis.....	25

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisis Kapabilitas Proses	29
4.2	Statistika Deskriptif	29
4.3	Pengujian Perbedaan Antar <i>Shift</i>	31
4.3.1	Pengujian Homogenitas Varians	32
4.3.2	MANOVA <i>One-Way</i>	32
4.4	Pengujian Perbedaan Antar Fase.....	33
4.4.1	Pengujian Homogenitas Varians	33
4.4.2	MANOVA <i>One-Way</i>	34
4.5	Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi	35
4.5.1	Pengujian Dependensi Antar Variabel	35
4.5.2	Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	35
4.6	Analisis Pengendalian Proses Varians dan <i>Mean</i>	36
4.6.1	Pengendalian Kualitas Fase 1	36
4.6.2	Pengendalian Kualitas Fase 2.....	39
4.7	Penentuan Indeks Kapabilitas Proses.....	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran.....	47

DAFTAR PUSTAKA.....	49
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	51
----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Blok Diagram Proses Pembuatan Pupuk Super Dolomit	22
Gambar 3.1	Diagram Alir	26
Gambar 4.1	Histogram Variabel H ₂ O	30
Gambar 4.2	Histogram Variabel US MESH-100.....	31
Gambar 4.3	Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> Fase 1.....	36
Gambar 4.4	Peta Kendali T ² <i>Hotelling</i> Fase 1	37
Gambar 4.5	Peta Kendali T ² <i>Hotelling</i> Setelah Perbaikan..	38
Gambar 4.6	Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> Fase 2.....	39
Gambar 4.7	Peta Kendali T ² <i>Hotelling</i> Fase 2	40
Gambar 4.8	Histogram Fase 1 (a) Variabel H ₂ O dan (b) Variabel US MESH-100.....	43
Gambar 4.9	Histogram Fase 2 (a) Variabel H ₂ O dan (b) Variabel US MESH-100.....	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 MANOVA	9
Tabel 2.2 Tabel Daerah Kritis MANOVA <i>One-Way</i>	10
Tabel 2.3 Struktur Data Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i>	15
Tabel 2.4 Kegiatan Produksi Pupuk Super Dolomit	21
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	24
Tabel 3.2 Struktur Data dengan $m=126$, $n=4$, dan $p=2$	24
Tabel 4.1 Statistika Deskriptif	29
Tabel 4.2 Indeks Kapabilitas Proses Univariat Fase 1	42
Tabel 4.3 Indeks Kapabilitas Proses Univariat Fase 2	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data Proses Produksi Pupuk Super Dolomit Bulan Desember 2015	51
Lampiran 2 Data Proses Produksi Pupuk Super Dolomit Bulan Januari 2015	56
Lampiran 3 <i>Syntax Macro Minitab</i> Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	61
Lampiran 4 <i>Output Macro Minitab</i> Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	63
Lampiran 5 <i>Output</i> Uji Independensi Variabel.....	69
Lampiran 6 <i>Output</i> Pengujian Homogenitas Varians (Box's M)	70
Lampiran 7 <i>Output</i> MANOVA.....	71
Lampiran 8 <i>Output</i> Kapabilitas Proses	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberhasilan produksi pertanian melalui kegiatan intensifikasi tidak terlepas dari kontribusi dan peranan sarana produksi, antara lain pupuk (Suriadikarta, Setyorini, dan Hartatik, 2004). PT Polowijo Gosari merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pupuk anorganik. Konsesi pertambangan PT. Polowijo Gosari terletak di Kawasan Bukit Sekapuk dan Kaklak, Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Kawasan yang memiliki luas 365,525 hektar. ini mengandung batuan dolomit berkualitas tinggi dengan kadar MgO yang berkisar antara 18% – 22% dan memiliki deposit sebesar 200 juta ton, merupakan yang terbaik di Asia Tenggara (berdasarkan hasil Analisa Laboratorium International).

Terdapat 11 produk pupuk yaitu pupuk Super dolomit, Super Super dolomit, *Sulfomag Plus*, *Kalphos*, *Mag Plus*, *NPK-Briket*, *NPK-Tablet*, *NPK-Organik*, *Magnesium*, *Guano Fosfat*, dan *NPK-Granule*. Produk pupuk tersebut yang paling banyak diproduksi adalah pupuk super dolomit. Pupuk super dolomit merupakan produk yang diandalkan di PT Polowijo Gosari, hal tersebut membutuhkan pengendalian kualitas yang dihasilkan dari produksi pupuk super dolomit, sehingga perlu adanya analisis yang lebih lanjut mengenai bagaimana kualitas yang dihasilkan oleh pupuk super dolomit tersebut serta kapabilitas proses produksi pupuk super dolomit.

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin maju dan dunia industri berkembang secara pesat, PT Polowijo Gosari secara tidak langsung dituntut untuk memenuhi kebutuhan pelanggan yaitu para petani yang menggunakan pupuk anorganik sebagai pengganti pupuk organik. Pupuk super dolomit yang sudah berada di tangan pelanggan harus benar-benar dapat dipastikan sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan PT Polowijo Gosari. Oleh sebab itu, sebelum pupuk super dolomit yang diproduksi PT

Polowijo Gosari sampai ke tangan pelanggan perlu dilakukan pengendalian kualitas pupuk super dolomit tersebut. Pada proses produksi pengendalian kualitas sangatlah penting. Ukuran kualitas, parameter, serta batas spesifikasi parameter yang diukur sudah ditentukan oleh perusahaan, dari hasil pengukuran pengamatan pada produk tersebut akan dilakukan analisis mengenai proses produksi tersebut sudah terkendali atau tidak. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk mengetahui proses tersebut telah terkendali atau tidak adalah dengan menggunakan peta kendali. Peta kendali dibedakan berdasarkan jenis karakteristik kualitas yaitu variabel dan atribut.

Proses produksi pupuk super dolomit di PT Polowijo Gosari jenis karakteristik kualitas yang diukur adalah variabel, karena data yang didapatkan dari Dept. *Quality Assurance* (QA) PT Polowijo Gosari berupa karakteristik kualitas atau parameter yang bisa diukur. Spesifikasi dari pupuk super dolomit yang diproduksi PT Polowijo Gosari adalah kandungan kadar H_2O maksimal 1% dan US Mesh-100 maksimal 95%.

Karakteristik kualitas yang dilihat dari proses *filter* adalah kandungan H_2O dan US Mesh-100. Secara teori kedua karakteristik kualitas saling berhubungan yaitu semakin rendah kandungan H_2O maka semakin halus bentuk pupuknya yang mengakibatkan semakin besar kemungkinan untuk lolos saringan US Mesh-100. Peta kendali yang cocok untuk menganalisis adalah peta kendali multivariat yaitu peta kendali *Generalized Variance* dan T^2 *Hotelling*. Peta kendali tersebut digunakan untuk mengendalikan variabilitas serta vektor rata-rata dari proses multivariat (Montgomery, 2009). Jika pada proses *filter* terkendali secara statistik, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis kapabilitas proses. Kapabilitas proses merupakan indikator menunjukkan kemampuan suatu proses dalam memenuhi batas spesifikasi yang telah ditetapkan (Heizer, 2009). Jika pada proses *filter* terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali, langkah yang dilakukan adalah mencari akar permasalahan dengan menggunakan diagram sebab-akibat atau diagram *ishikawa*.

Sehingga untuk selanjutnya dari hasil yang didapatkan bisa membantu perusahaan dalam menyelesaikan permasalahan khususnya di bidang pengendalian kualitas.

Menurut penelitian Mufidah (2014) tentang pengendalian kualitas statistik produk Pupuk Phonska di PT Petrokimia Gresik dengan metode peta kendali T^2 Hotelling fase 1 dan 2 serta *Generalized Variance* fase 2 yang telah terkendali sebagai tolok ukur. Kemudian menurut penelitian Kurnia (2013) di PT Ajinomoto Indonesia dengan metode yang sama menunjukkan bahwa proses MSG jenis RC dikatakan belum kapabel.

1.2 Rumusan Masalah

Selama ini PT Polowijo Gosari sudah melakukan pemeriksaan kualitas secara rutin. Metode yang digunakan adalah deskriptif yaitu membandingkan kadar H_2O dan US MESH-100 dengan batas spesifikasinya. Jika memenuhi batas spesifikasi, proses dikatakan baik, jika tidak memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan proses dikatakan buruk, dan langkah selanjutnya adalah Dept. QA melaporkan ke bagian produksi untuk melakukan tindakan.

Walaupun demikian, belum dilakukan analisis kapabilitas yang sangat penting untuk mengetahui proses kapabel atau tidak, agar kualitas produk dapat memenuhi keinginan pelanggan. Dengan analisis kapabilitas dapat diketahui apakah proses sudah terkendali dan memenuhi batas spesifikasi atau tidak. Permasalahannya adalah bagaimana kapabilitas proses produksi pupuk super dolomit pada periode Fase 1 dan Fase 2?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah ingin diperoleh dari penelitian ini adalah menganalisis kapabilitas proses produksi pupuk super dolomit di PT Polowijo Gosari periode Desember 2015 dan Januari 2016.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dijadikan sebagai acuan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian difokuskan pada proses *filter* produksi pupuk super dolomit di PT Polowijo Gosari.
2. Data yang digunakan adalah data sekunder hasil pengukuran untuk proses produksi pupuk super dolomit di PT Polowijo Gosari yang digunakan pada penelitian ini adalah periode fase 1 (Desember 2015) dan fase 2 (Januari 2016).
3. Jumlah hari produksi pada bulan Desember 2015 sebanyak 22 hari dan pada bulan Januari 2016 sebanyak 21 hari. Sebab produksi di PT Polowijo selama satu bulan tidak berproduksi penuh.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat menjadi informasi di PT Polowijo Gosari Gresik dalam rangka pelaksanaan program peningkatan kualitas produksi pupuk super dolomit apabila terjadi ketidaksesuaian berdasarkan metode peta kendali, serta dapat memberikan saran atau rekomendasi untuk perusahaan dari hasil analisis yang dilakukan untuk membantu perusahaan dalam menyelesaikan masalah yang kaitannya dengan pengendalian kualitas, dan hasil dari penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses adalah suatu analisis guna menaksir kemampuan proses. Analisis kemampuan proses merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan program peningkatan kualitas (Montgomery, 2009). Proses dikatakan telah kapabel jika dalam kondisi:

1. Terkendali secara statistik, dalam hal ini perlu dibuat peta kendali untuk memeriksa apakah proses terkendali atau tidak.
2. Memenuhi batas spesifikasi
3. Tingkat presisi dan akurasi tinggi. Tingkat presisi dilihat dari nilai C_p dan tingkat akurasi dilihat dari nilai C_{pk} (Kotz dan Johnson 1993).

2.2 Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif adalah metode-metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian suatu gugus data sehingga memberikan informasi yang berguna. Statistika deskriptif memberikan informasi hanya mengenai data yang dimiliki dan sama sekali tidak menarik kesimpulan terhadap sekumpulan data. Penyajian data secara deskriptif memberikan gambaran tentang ukuran pemusatan, variabilitas dalam data, dan sifat umum dari distribusi observasi dalam sampel. Perhitungan data kuantitatif bisa dilakukan dengan menggunakan beberapa cara ukuran sebagai berikut (Walpole, 2012).

2.2.1 Rata-rata

Rata-rata (*mean*) didefinisikan sebagai jumlah data yang dibagi dengan banyaknya data. Penghitungan rata-rata dilakukan dengan menjumlahkan seluruh nilai data, kemudian dibagi dengan jumlah dari data tersebut. Jadi jika suatu data dengan jumlah sampel n , maka bisa dihitung rata-rata dari data tersebut dengan rumus sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

2.2.2 Varians

Varians adalah salah satu dasar statistik yang digunakan untuk menjelaskan homogenitas kelompok. Varians merupakan jumlah kuadrat semua deviasi nilai-nilai individual terhadap rata-rata kelompok .

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.2)$$

2.2.3 Minimum dan Maksimum

Nilai maksimum adalah nilai terbesar atau nilai tertinggi pada suatu gugus data. Nilai minimum adalah nilai terkecil pada suatu gugus data.

2.2.4 Histogram

Distribusi frekuensi sering pula disebut sebagai tabel frekuensi. Bentuk penyajian ini, data yang semula masih mentah (termasuk data yang telah diurutkan), disusun dalam kelompok-kelompok data atau kelas-kelas data tertentu. Pengelompokan data tersebut dilakukan dengan cara mendistribusikan data dalam kelas atau selang dan menetapkan banyaknya nilai yang termasuk dalam setiap kelas yang disebut frekuensi kelas. Dengan distribusi frekuensi baik data kualitatif maupun kuantitatif dapat disajikan dalam bentuk yang ringkas dan jelas. Grafik histogram dapat menggambarkan distribusi normal atau bukan. Jika bentuknya simetris dapat dikatakan berdistribusi normal, namun terdapat bentuk skewnes ke kanan atau kekiri. Sebuah distribusi dikatakan simetris jika dapat dilipat sepanjang sumbu vertikal, sehingga kedua belah pihak bertepatan (Walpole, 2012)

2.3 Peta Kendali

Peta kendali adalah peta yang digunakan untuk pengendalian kualitas statistik. Peta tersebut dapat digunakan untuk menaksir parameter proses dan mengetahui kemampuan proses sehingga dapat mengurangi variabilitas sebanyak mungkin dengan membentuk suatu grafik dari proses waktu ke waktu. Dalam peta kendali atau diagram kendali terdapat garis tengah yang merupakan nilai rata-rata karakteristik kualitas yang diukur. Terdapat dua jenis karakteristik kualitas, yaitu kualitas variabel dan atribut. Karakteristik kualitas variable adalah karakteristik kualitas produk dinyatakan dengan besaran yang dapat diukur, misalnya, panjang, lebar, temperatur, dll. Karakteristik kualitas atribut adalah karakteristik kualitas suatu produk dinyatakan dengan kategori tertentu, yaitu ada dua kemungkinan baik dan buruk, seperti produk cacat atau produk baik, dll.

Apabila karakteristik kualitas atribut, maka digunakan peta kendali atribut, tetapi jika karakteristik kualitas variabel digunakan peta kendali variabel. Peta kendali atribut antara lain, peta p, peta np, peta c, dan peta u. Peta kendali variabel ada beberapa macam, jika karakteristik kualitas hanya satu, maka digunakan peta kendali peta $\bar{X} - R$, peta $\bar{X} - S$, dan peta individu, tetapi jika karakteristik kualitas lebih dari satu dan saling berhubungan maka digunakan peta kendali peta kendali *Genelalized Variance* dan T^2 Hotelling (Montgomery, 2009).

2.3.1 Perbandingan Beberapa Populasi

Perbandingan beberapa populasi dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara populasi satu dengan populasi lainnya. Perbandingan beberapa populasi dapat dilakukan dengan metode MANOVA, dengan asumsi yang harus dipenuhi yaitu sampel acak dari populasi yang berbeda saling dependen, matriks varian kovarian homogen dan masing-masing populasi berdistribusi multivariat normal (Johnson dan Winchern, 2007).

a. Homogenitas Matriks Varians-Kovarians

Salah satu asumsi yang harus dipenuhi pada dua atau lebih vektor rata-rata multivariat yaitu matriks kovarian dari beberapa populasi homogen (Johnson dan Winchern, 2007). Pengujian

homogenitas memiliki tujuan untuk mencari apakah dari beberapa kelompok data penelitian memiliki varians yang sama atau tidak. Metode yang digunakan untuk menguji homogenitas matriks varian kovarian pada data multivariat yaitu *Box's M* yang dijelaskan sebagai berikut.

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_l \neq \Sigma_g ; l, g = 1, 2, 3$$

Statistik uji :

$$C = (1-u)M = \left(1-u \left\{ \sum_{l=1}^g (n_l - 1) \ln |S_{pooled}| - \sum_{l=1}^g [(n_l - 1) \ln |S_l|] \right\} \right) \quad (2.3)$$

Dengan :

$$S_{pooled} = \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \{ (n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2 + \dots + (n_g - 1)S_g \} \quad (2.4)$$

$$u = \left[\sum_{l=1}^g \frac{1}{(n_l - 1)} - \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \left[\frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(g-1)} \right] \right] \quad (2.5)$$

dimana

g = Banyaknya grup

p = Banyaknya karakteristik kualitas

dengan menggunakan taraf signifikan sebesar α dan aproksimasi berdistribusi χ^2 maka H_0 ditolak jika $C > \chi^2_{p(p+1)(g-1)/2; \alpha}$.

b. MANOVA *One-Way*

MANOVA merupakan pengujian digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan faktor rata-rata pengaruh terhadap beberapa variabel respon (Johnson dan Winchern, 2007). MANOVA digunakan jika terdapat beberapa variabel yang saling berhubungan. Persamaan model MANOVA untuk *mean vector* g populasi ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{it} &= \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\tau}_l + \mathbf{e}_{it} \\ \mathbf{x}_{it} &= \bar{\mathbf{x}} + (\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}}) + (\mathbf{x}_{it} - \bar{\mathbf{x}}_l) \end{aligned} \quad (2.6)$$

dimana

$\boldsymbol{\mu}$ adalah nilai matriks rata-rata

τ_l sebagai hasil dari pengaruh perlakuan dengan $\sum_{l=1}^g n_l \tau_l = 0$

e_{ij} adalah variabel independen dari $N_p(\mathbf{0}, \Sigma)$

$t = 1, 2, \dots, n_l$

$l = 1, 2, \dots, g$

sehingga jika ada g perlakuan maka hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

Hipotesis :

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_g = 0$

$H_1 : \text{minimal ada satu } \tau_l \neq 0, l = 1, 2, \dots, g$

Statistik uji :

$$\Lambda^* = \frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B} + \mathbf{W}|} = \frac{\sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_l)(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_l)'}{\sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})'} \quad (2.7)$$

Tabel 2.1 MANOVA

Source of Variation (SV)	Matrix of Sum of Squares and Cross Product (SSP)	Degress of Freedom (d.f)
Perlakuan	$\mathbf{B} = \sum_{l=1}^g n_l (\bar{\bar{\mathbf{x}}}_l - \bar{\bar{\mathbf{x}}})(\bar{\bar{\mathbf{x}}}_l - \bar{\bar{\mathbf{x}}})'$	$g - 1$
Residual	$\mathbf{W} = \sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_l)(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_l)'$	$\sum_{l=1}^g n_l - g$
Total	$\mathbf{B} + \mathbf{W} = \sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})'$	$\sum_{l=1}^g n_l - 1$

Daerah penolakan : tolak H_0 jika $\Lambda^* > \chi^2_{p(g-1);(\alpha)}$

Distribusi Λ^* (Wilks Lambda) dapat didekati dengan distribusi F dengan memenuhi kriteria pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel Daerah Kritis MANOVA *One-Way*

Jumlah Variabel	Jumlah Grup	Distribusi Sampling
$p = 1$	$g \geq 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - g}{g - 1} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \approx F_{g-1, \sum_{l=1}^g n_l - g}$
$p = 2$	$g \geq 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - g - 1}{g - 1} \right) \left(\frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*} \right) \approx F_{2(g-1), 2 \left(\sum_{l=1}^g n_l - g - 1 \right)}$
$p \geq 1$	$g = 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 1}{p} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \approx F_{p, \sum_{l=1}^g n_l - p - 1}$
$p \geq 1$	$g = 3$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 2}{p} \right) \left(\frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*} \right) \approx F_{2p, 2 \left(\sum_{l=1}^g n_l - p - 2 \right)}$

Jika $\sum n_l = n$ merupakan sampel besar maka digunakan aproksimasi *chi-square* dengan derajat bebas $p(g-1)$ dimana rumus dan daerah penolakan yang digunakan ditunjukkan pada persamaan 2.14.

$$-\left(n - 1 - \frac{(p+g)}{2} \right) \ln \left(\frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B} + \mathbf{W}|} \right) > \chi_{p(g-1); (\alpha)}^2 \quad (2.8)$$

2.3.2 Peta Kendali *Generalized Variance*

Pengendalian kualitas terhadap variabilitas proses sangat penting dilakukan, untuk mengetahui proses produksi terkendali atau tidak. Peta kendali *Generalized Variance* digunakan untuk pengendalian variabilitas proses. Variabilitas proses dinyatakan sebagai matrik kovarian Σ berukuran $p \times p$. Diagonal utama dari matrik ini adalah variansi dari variabel proses secara individual dan data selain diagonal utama adalah kovarian. Biasanya matrik varian kovarian Σ ditaksir oleh matrik varian kovarian S berdasarkan analisis sampel pendahuluan. Metode yang digunakan untuk peta kendali *Generalized Variance* dapat ditulis dengan $|S|$. Nilai plot pengamatan peta kendali *Generalized Variance* adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$V_i = -pn + pn \ln(n) - n \ln(|\mathbf{A}_i|/|\Sigma|) + \text{tr}(\Sigma^{-1} \mathbf{A}_i) \quad (2.9)$$

dimana $\mathbf{A}_i = (n-1)\mathbf{S}_i$, \mathbf{S}_i adalah matriks varians-kovarians pada sampel ke- i . Dengan menggunakan rata-rata $E|S|$ dan varian $V|S|$ sebagai berikut.

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \quad (2.10)$$

$$V(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (2.11)$$

dimana:

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (2.12)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[\prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \quad (2.13)$$

Batas kendali dari peta kendali *Generalized Variance*, yaitu Batas Kendali Atas (BKA), Garis Tengah (GT), dan Batas Kendali Bawah (BKB) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BKA &= \left| \sum (b_1 + 3b_2^{1/2}) \right| \\
 GT &= b_1 \sum \\
 BKB &= \left| \sum (b_1 - 3b_2^{1/2}) \right|
 \end{aligned}
 \quad (2.14)$$

BKB akan bernilai nol jika hasil perhitungan yang didapat bernilai negatif atau kurang dari nol.

2.3.3 Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta kendali adalah suatu grafik yang menggambarkan karakteristik kualitas hasil proses produksi yang mempunyai batas kendali atas, batas kendali bawah, dan garis tengah. Proses dikatakan terkendali jika pengamatan didalam batas kendali atas dan batas kendali bawah. Peta T^2 Hotelling merupakan peta kendali multivariat yang digunakan untuk mengendalikan suatu proses ketika variabel yang diamati lebih dari satu jenis dan saling berhubungan.

Dalam melakukan analisis untuk sampel berukuran n yang dilakukan dengan asumsi bahwa proses sudah terkendali dengan nilai μ dan Σ yang perlu diestimasi karena nilainya tidak diketahui. Rata-rata dan varians dari setiap sampel dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

dimana:

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (2.15)$$

$$s_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})^2 \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (2.16)$$

Dimana x_{ijk} adalah pengamatan ke- i , karakteristik kualitas ke- j , dan sampel ke- k . Kovarians antara karakteristik kualitas j dan karakteristik kualitas ke h dengan sampel k adalah sebagai berikut.

$$s_{jhk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ihk} - \bar{x}_{hk}) \quad \begin{cases} k = 1, 2, \dots, m \\ j \neq h \end{cases} \quad (2.17)$$

Statistik \bar{x}_{jk} , s_{jk}^2 , dan s_{jhk} adalah rata-rata dari semua m sampel adalah sebagai berikut.

$$\bar{\bar{x}}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{x}_{jk} ; j = 1, 2, \dots, p$$

$$\bar{s}_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jk}^2 ; j = 1, 2, \dots, p \quad (2.18)$$

$$\bar{s}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jhk} ; j \neq h$$

Diperoleh matrik kovarian **S** dari rata-rata sampel berukuran $p \times p$ sebagai berikut.

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_{.1.}^2 & s_{.12} & \cdots & s_{.1p} \\ s_{.2.}^2 & \cdots & \cdots & s_{.2p} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ s_{.p.}^2 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Jika menaksir μ dari $\bar{\bar{x}}_j$ dan Σ dengan **S** maka didapatkan persamaan peta kendali T^2 Hotelling yang digunakan sebagai berikut.

$$T^2 = n(\bar{\mathbf{x}} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})^T \mathbf{S}^{-1} (\bar{\mathbf{x}} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}) \quad (2.20)$$

Pemilihan batas kendali pada proses pengendalian multivariate harus seksama dengan batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) dari peta kendali T^2 Hotelling untuk fase 1 sebagai berikut.

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (2.21)$$

$$GT = \text{Median}$$

$$BKB = 0$$

Pada fase 2, ketika peta kendali adalah digunakan untuk memonitoring produksi ke depannya, dengan batas kendali sebagai berikut.

$$BKA = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (2.22)$$

$$GT = \text{Median}$$

$$BKB = 0$$

$F_{\alpha, p, mn-m-p+1}$ = nilai yang diperoleh dari table F dengan taraf signifikan (α) sebesar 0,05. Menurut Montgomery (2009) α merupakan peluang dari *type I error* [$\alpha = P(\text{type I error})$], yang dimaksud dengan *type I error* adalah menolak H_0 padahal H_0 benar. Didalam pengendalian kualitas, karakteristik kualitas atau variabel yang digunakan lebih dari satu dan terdapat hubungan (multivariat) probabilitas proses terkendali sebesar $(1-\alpha)^p$, Z yang digunakan sebesar 3, maka diperoleh α sebesar 0,0027.

Proses dikatakan terkendali jika T_k^2 berada didalam batas kendali, sebaliknya jika ada T_k^2 diluar batas kendali maka proses dikatakan tidak terkendali (*out of control*). Jika sampel dari subgroup ke-k yang dikatakan *out of control* dan diketahui penyebabnya, maka sampel subgroup ke-k dapat dihilangkan. Langkah tersebut dilakukan sampai peta dalam keadaan terkendali. Jika peta kendali pada tahap I sudah terkendali maka dapat dilanjutkan pada tahap II. Peta kendali tahap II yaitu melakukan pengendalian karakteristik kualitas dengan menggunakan data masa yang akan datang, dengan acuan batas kendali yang digunakan adalah hasil dari tahap I (pengendalian awal) (Montgomery, 2009). Berikut adalah struktur data dari peta kendali T^2 Hotelling.

Tabel 2.3 Struktur Data Peta Kendali T^2 Hotelling

Shift (k)	Sampel tiap shift (i)	Karakteristik Kualitas (j)				
		x_1	...	x_j	...	x_p
1	1	x_{111}	...	x_{1j1}	...	x_{1p1}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	i	x_{i11}	...	x_{ij1}	...	x_{ip1}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots

Shift (k)	Sampel tiap shift (i)	Karakteristik Kualitas (j)				
		x_1	...	x_j	...	x_p
k	n	x_{n11}	...	x_{nj1}	...	x_{np1}
	\bar{x}	$\bar{x}_{.11}$	...	$\bar{x}_{.j1}$	...	$\bar{x}_{.p1}$
	S^2	$S_{.11}^2$	...	$S_{.j1}^2$	...	$S_{.p1}^2$
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	1	x_{11k}	...	x_{1jk}	...	x_{1pk}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	i	x_{i1k}	...	x_{ijk}	...	x_{ipk}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	n	x_{n1k}	...	x_{njk}	...	x_{npk}
	\bar{x}	$\bar{x}_{.1k}$	...	$\bar{x}_{.jk}$	...	$\bar{x}_{.pk}$
	S^2	$S_{.1k}^2$	...	$S_{.jk}^2$	...	$S_{.pk}^2$
m	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	1	x_{11m}	...	x_{1jm}	...	x_{1pm}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	i	x_{i1m}	...	x_{ijm}	...	x_{ipm}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	n	x_{n1m}	...	x_{njm}	...	x_{npm}
Rata-rata Keseluruhan		$\bar{\bar{x}}_{.1.}$	...	$\bar{\bar{x}}_{.j.}$	...	$\bar{\bar{x}}_{.p.}$
Varian Keseluruhan		$S_{.1.}^2$	...	$S_{.j.}^2$	...	$S_{.p.}^2$

2.3.4 Pemeriksaan dan Pengujian Asumsi

Analisis multivariat adalah analisis statistika pada data yang terdiri dari beberapa variabel yang saling berhubungan. Data multivariat diperoleh dari hasil pengukuran lebih dari satu

karakteristik pada setiap individu anggota sampel. Sehingga jika pemeriksaan obyek secara atribut maka pemeriksaan tersebut dilakukan pada lebih dari satu karakteristik kualitas. Analisis multivariat merupakan metode statistik yang menganalisis pengaruh beberapa variabel terhadap variabel lainnya secara bersama-sama (Johnson dan Winchern, 2007).

a. Dependensi Antar Variabel

Variabel X_1 dan X_2 merupakan dua variabel karakteristik kualitas yang ingin diketahui hubungan antara keduanya. Pengujian kebebasan antar dua variabel ini dapat digunakan korelasi *pearson*. Dengan begitu dapat diketahui tingkat keeratan hubungan dengan suatu nilai koefisien korelasi yang dilambangkan dengan ρ untuk parameter dan r untuk statistik .

Koefisien korelasi bernilai $-1 \leq r \leq 1$. Tanda pada koefisien korelasi menunjukkan arah hubungan dari kedua variabel. Koefisien korelasi yang bertanda positif menunjukkan bahwa ketika nilai variabel satu bertambah maka variabel dua juga akan cenderung bertambah. Sebaliknya, untuk koefisien korelasi yang bernilai negatif menunjukkan bahwa ketika variabel satu bertambah maka variabel dua akan cenderung berkurang (Setiawan & Kusriani, 2010).

Hipotesis :

$H_0 : \rho = 0$ (tidak ada korelasi antar variabel)

$H_1 : \rho \neq 0$ (ada korelasi antar variabel)

Statistik uji :

$$r_{x_1 x_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}} \quad (2.23)$$

n merupakan banyaknya pengamatan. H_0 ditolak ketika $p\text{-value} < \alpha$ atau $r_{hitung} > r_{\alpha, df}$ yang berarti bahwa ada hubungan antara variabel X_1 dan X_2 .

b. Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat merupakan pengembangan dari distribusi normal univariat dengan jumlah variabel yang lebih dari satu. Distribusi ini digunakan pada sekelompok data yang variable-variabelnya memiliki hubungan. Apabila terdapat sejumlah p variabel yang dinyatakan dalam bentuk vektor $\mathbf{X}^T = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ yang mengikuti distribusi normal multivariat dengan parameter $\boldsymbol{\mu}$ dan $\boldsymbol{\Sigma}$, maka fungsi densitas peluangnya adalah sebagai berikut (Johnson & Winchern, 2007).

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})}, -\infty < \mathbf{x} < \infty \quad (2.24)$$

Jika X_1, X_2, \dots, X_p berdistribusi normal multivariat maka $(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})$ akan berdistribusi χ^2 . Berdasarkan sifat ini maka pemeriksaan distribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan membuat q - q plot dan pengujian hipotesis. Dilakukan pengujian secara visual menggunakan q - q plot. Prosedur pembuatan q - q plot adalah sebagai berikut.

Berdasarkan sifat ini maka pemeriksaan distribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan cara membuat q - q plot sebagai berikut.

1. Menghitung jarak tergeneralisasi yang dikuadratkan atau disebut d_ℓ^2 dimana \mathbf{S}^{-1} berukuran $p \times p$
2. Mengurutkan d_ℓ^2 dari terkecil hingga terbesar
3. Mengurutkan nilai q , dimana nilai q diperoleh dari persamaan 2.8 sebagai berikut.
4. Membuat *scatterplot* antara d_ℓ^2 dan q

Data akan mengikuti distribusi multivariat apabila pada q - q plot membentuk suatu garis lurus dan nilai-nilai dari d_ℓ^2 yang kurang dari nilai q sebanyak 50%. Berikut adalah rumus yang digunakan.

$$d_\ell^2 = (\mathbf{x}_{\ell j} - \bar{\mathbf{x}}_j)^T \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_{\ell j} - \bar{\mathbf{x}}_j) \quad (2.25)$$

$$q = \chi_{p;((n-\ell+0,5)/n)}^2 \quad (2.26)$$

$$S = \begin{bmatrix} s_{11}^2 & s_{12} & \dots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22}^2 & \dots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \dots & s_{pp}^2 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

$$\bar{s}_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jk}^2 ; j = 1, 2, \dots, p$$

$$\bar{s}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jhk} ; j \neq h \quad (2.28)$$

$$s_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{.jk})^2 \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (2.29)$$

$$s_{jhk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ihk} - \bar{x}_{hk}) \quad \begin{cases} k = 1, 2, \dots, m \\ j \neq h \end{cases} \quad (2.30)$$

2.4 Indeks Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan suatu pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi keseluruhan proses. Jika asumsi peta kendali dalam keadaan terkendali dan data berdistribusi multivariat normal telah terpenuhi, maka nilai indeks kapabilitas proses (C_p) multivariat berdasarkan Raissi (2009), dapat dihitung menggunakan metode *weighting average*. Berikut adalah persamaan untuk menghitung MPCIs (indeks kapabilitas multivariat).

$$MC_p = \sum_{j=1}^p G_j \times Cp(x_j) \quad (2.31)$$

$$MC_{pk} = \sum_{j=1}^p G_j \times Cpk(x_j) \quad (2.32)$$

Dimana MP_P , MP_{PK} berturut-turut merupakan bentuk P_P , P_{PK} dalam keadaan multivariat dengan G_j merupakan pembobot berdasarkan kepentingan dengan $\sum_{j=1}^p G_j$. Dengan persamaan indeks

kapabilitas secara univariat menu-rut Montgomery (2009) adalah sebagai berikut.

$$C_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} \quad (2.33)$$

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (2.34)$$

$$C_{pu} = \frac{BSA - \mu}{3\sigma} \quad (2.35)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - BSB}{3\sigma} \quad (2.36)$$

Keterangan :

BSA = batas spesifikasi atas

BSB = batas spesifikasi bawah

Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive Industry Action Group* (AIAG) untuk proses dalam keadaan *in control* adalah C_p dan C_{pk} sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan *in control*, lebih baik digunakan, indeks *performance process* P_p dan P_{pk} (Montgomery, 2009). Hal ini dikarenakan ketika proses dalam kondisi *out of control*, nilai varians tidak dapat ditaksir dari nilai sampel. Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data univariat adalah.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\hat{\sigma}_{overall}} \quad (2.37)$$

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{BSA - \bar{x}}{3\hat{\sigma}_{overall}}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\hat{\sigma}_{overall}} \right\} \quad (2.38)$$

Sehubungan dengan adanya dua karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini, maka indeks *performance process* secara multivariat cocok digunakan terutama dengan

mempertimbangkan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Raissi, 2009).

$$MP_p = \sum_{j=1}^p G_j \times Pp(x_j) \quad (2.39)$$

$$MP_{pk} = \sum_{j=1}^p G_j \times Ppk(x_j) \quad (2.40)$$

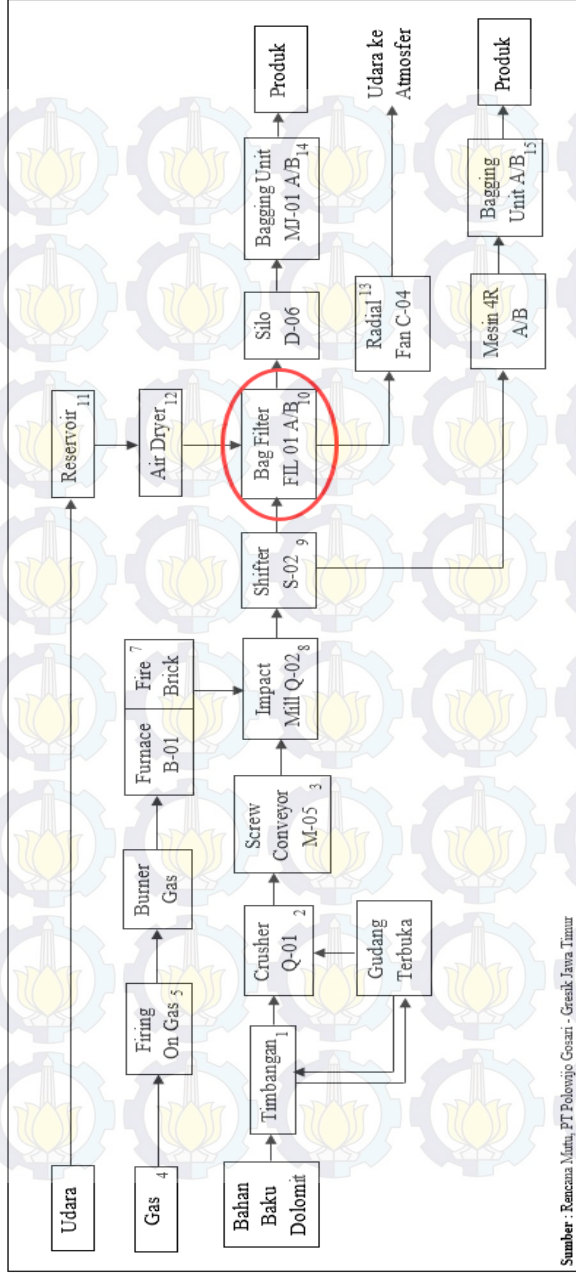
2.5 Proses Produksi Pupuk Super Dolomit

PT Polowijo Gosari merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pupuk anorganik. Konsesi pertambangan PT Polowijo Gosari terletak di Kawasan Bukit Sekapuk dan Kaklak, Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Kawasan yang memiliki luas 365,525 Ha. ini mengandung batuan dolomit berkualitas tinggi dengan kadar MgO yang berkisar antara 18% – 22%. Produk yang diproduksi PT Polowijo Gosari dengan bahan baku batu dolomit adalah pupuk super dolomit. Batu dolomit diambil dari pertambangan di kawasan bukit Sekapuk dan Kaklak. Kegiatan produksi pupuk super dolomit terdapat 3 tahapan mulai dari penerimaan bahan baku, proses *filter*, dan pengantongan (*finishing*). Dari ke-3 tahapan tersebut, terdapat 15 proses produksi pupuk super dolomit (Gambar 2.1). Berikut adalah 15 unit kerja dalam pembuatan pupuk super dolomit.

Tabel 2.4 Kegiatan Produksi Pupuk Super Dolomit

No	Kegiatan
Penerimaan Bahan Baku	
1	Pemeriksaan fisik
	Penimbangan
	Pemeriksaan kadar
Proses Produksi (Filter)	
2	Umpan BB ke Pemecahan
3	Pemasukan BB ke penggilingan/penghalusan
4	Pemasukan gas CNG
5	Penurunan tekanan gas
6	Pengaturan nyala

No	Kegiatan
7	Pengaturan suhu pengeringan
8	Penggilingan/penghalusan
9	Pengayakan
10	Sesudah penghalusan dan pengeringan (Filter Bag)
11	Penampungan udara penghantar
12	Pengeringan udara penghantar
13	Penghisapan udara
Pengantongan (Finishing)	
14	Pemotongan (Bagging) Super Dolomit
15	Pemotongan Mesin 4R-A/B (Bagging)



Sumber : Rencana Mata, PT Polonio Gesari - Gresik Jawa Timur

Gambar 2.1 Blok Diagram Proses Pembuatan Pupuk Super Dolomit

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari Departemen *Quality Assurance* (QA) PT Polowijo Gosari Gresik, Jawa Timur pada bulan Desember 2015 dan Januari 2016.

Variabel kualitas yang akan diteliti ada 2 variabel, yaitu sebagai berikut.

1. Air (H_2O)

Menurut Arsyad (2000), yang dimaksud air adalah senyawa gabungan antara dua atom hidrogen dan satu atom oksigen menjadi H_2O . Dalam penelitian ini yang diukur dari H_2O adalah kandungan air dari hasil proses penghalusan dan pengeringan dolomit pada proses filter (F-01 A/B) dalam bentuk persen atau disebut dengan kadar H_2O . Standar yang ditentukan dalam kadar H_2O dalam proses *filter* maksimal 1%.

2. US MESH-100

Menurut Maharani (2012), mesh adalah jumlah lubang yang terdapat dalam satu inci persegi (*square inch*). US Mesh adalah ukuran standar yang ditentukan di United State untuk melihat tingkat kehalusan suatu partikel. Sehingga US Mesh-100 adalah ukuran dalam satu inci linier layar terdapat 100 kotak kecil. Untuk mengukur tingkat kehalusan dari partikel digunakan dalam satuan mikron. Berdasarkan Sweco, US Mesh-100 sama dengan 149 mikron atau 0,0059 inches. Dalam penelitian ini kadar partikel dolomit dari hasil penghalusan dan pengeringan pada proses *filter* minimal 95%.

Secara teori kedua karakteristik kualitas atau variabel saling berhubungan yaitu semakin rendah kandungan H_2O maka semakin halus bentuk pupuknya yang mengakibatkan semakin besar kemungkinan untuk lolos saringan US Mesh-100, begitupun sebaliknya. Secara ringkas kedua variabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No	Variabel	Satuan	Standart
1	H ₂ O	%	0 - 1
2	US Mesh-100	%	95 - 100

Subgrup yang digunakan adalah *shift* produksi dan pada setiap *shift* produksi frekuensi pengambilan sampel sebanyak 4 kali yaitu setiap 2 jam sekali. Terdapat 8 jam kerja per *shift*.

Tabel 3.2 Struktur Data dengan m=126, n=4, dan p=2

Shift (m)	Sampel tiap shift (n)	Karakteristik Kualitas (p)	
		H ₂ O (x_1)	US Mesh-100 (x_2)
1	1	$x_{11(1)}$	$x_{12(1)}$
	2	$x_{21(1)}$	$x_{22(1)}$
	3	$x_{31(1)}$	$x_{32(1)}$
	4	$x_{41(1)}$	$x_{42(1)}$
	\bar{x}	$\bar{x}_{.11}$	$\bar{x}_{.21}$
	s^2	$s^2_{.11}$	$s^2_{.21}$
⋮	⋮	⋮	⋮
k	1	$x_{11(k)}$	$x_{12(k)}$
	2	$x_{21(k)}$	$x_{22(k)}$
	3	$x_{31(k)}$	$x_{32(k)}$
	4	$x_{41(k)}$	$x_{42(k)}$
	\bar{x}	$\bar{x}_{.1k}$	$\bar{x}_{.2k}$
	s^2	$s^2_{.1k}$	$s^2_{.2k}$
⋮	⋮	⋮	⋮
126	1	$x_{11(126)}$	$x_{12(126)}$
	2	$x_{21(126)}$	$x_{22(126)}$

Tabel 3.2 (Lanjutan) Struktur Data dengan $m=126$, $n=4$, dan $p=2$

Shift (m)	Sampel tiap shift (n)	Karakteristik Kualitas (p)	
		H ₂ O (x_1)	US Mesh-100 (x_2)
	3	$x_{31(126)}$	$x_{32(126)}$
	4	$x_{41(126)}$	$x_{42(126)}$
	\bar{x}	$\bar{x}_{.1(126)}$	$\bar{x}_{.2(126)}$
	s^2	$s_{.1(126)}^2$	$s_{.2(126)}^2$
Rata-rata Keseluruhan		$\bar{\bar{x}}_{.1.}$	$\bar{\bar{x}}_{.2.}$
Varian Keseluruhan		$s_{.1.}^2$	$s_{.2.}^2$

Struktur data dapat dilihat pada Tabel 3.2 dengan keterangan sebagai berikut.

- $x_{31(126)}$ = hasil pengukuran pada shift 126, pengulangan ke-3, dan variabel X_1
- m = jumlah subgrup (*shift*), terdapat 126 *shift*
- n = jumlah pengulangan (frekuensi), terdapat 4 kali dalam setiap *shift* dengan 8 jam kerja/*shift*
- p = banyaknya karakteristik kualitas, terdapat 2 karakteristik kualitas yakni H₂O dan US Mesh-100

3.2 Langkah Analisis

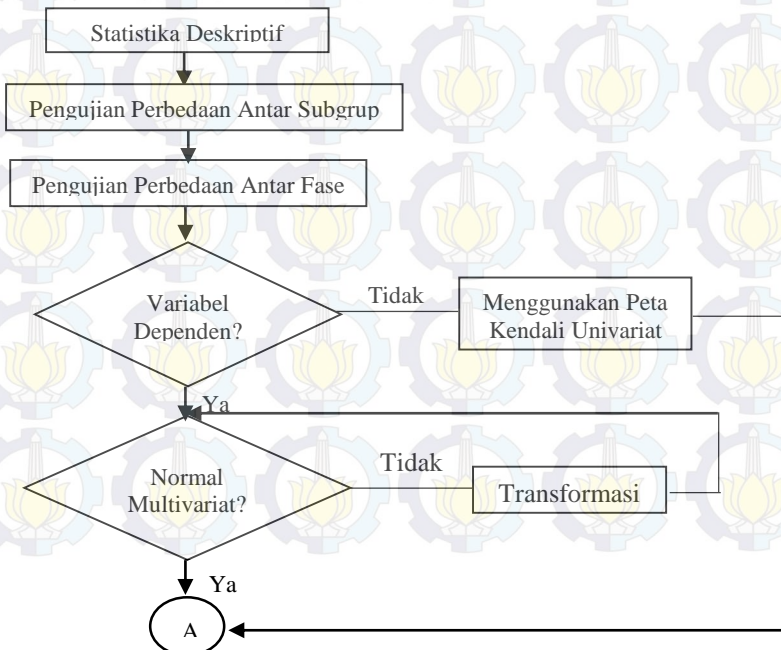
Langkah analisis setelah diperoleh data proses pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah menganalisis kapabilitas proses produksi pupuk super dolomit sebagai berikut.

1. Membuat histogram dengan batas spesifikasi masing-masing variabel untuk melihat karakteristik data awal
2. Melakukan pengujian MANOVA, untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antar *shift*.
3. Melakukan pengujian MANOVA, untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antar fase.
4. Membuat peta kendali T^2 Hotelling dan *Generalized Variance* dengan fase 1 (Desember 2015) dan fase 2 (Januari 2016),

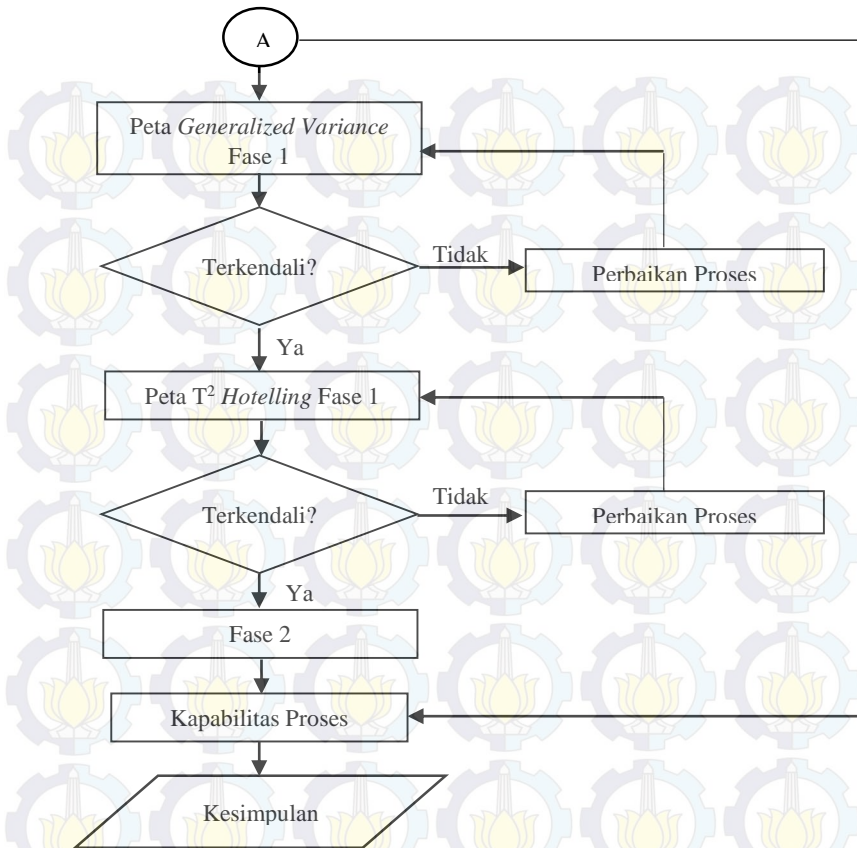
sebab kedua variabel yang digunakan pada penelitian ini saling berhubungan. Syarat membuat peta kendali adalah,

- a. Melakukan pengujian dependensi variabel dengan metode korelasi *pearson* untuk mengetahui apakah kedua karakteristik kualitas dependen atau independen.
 - b. Melakukan pemeriksaan distribusi normal multivariat untuk mengetahui apakah data dari variabel yang diamati telah mengikuti pola distribusi normal multivariat.
5. Menentukan indeks kapabilitas proses untuk mengetahui apakah proses produksi pupuk super dolomit dalam menghasilkan variabel yang diamati telah kapabel.
 6. Menginterpretasikan hasil analisis.
 7. Kesimpulan dan saran.

Selanjutnya akan dibuat diagram alir dari langkah analisis atau tahapan-tahapan dalam menyelesaikan penelitian ini. Berikut adalah diagram alir yang telah dibuat untuk memudahkan dalam menyusun laporan penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 (Lanjutan) Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kapabilitas Proses

Sebelum melakukan analisis kapabilitas proses, syarat yang harus dipenuhi terlebih dahulu adalah pengendalian kualitas secara statistik. Variabel yang digunakan pada proses produksi pupuk super dolomit terdapat dua variabel yang saling berhubungan yakni H_2O dan US MESH-100. Oleh karena itu peta kendali yang digunakan adalah peta kendali *Generalized Variance* dan T^2 Hotelling. Asumsi yang harus terpenuhi sebelum melakukan pengendalian kualitas adalah dependensi variabel dan data berdistribusi normal multivariat. Sebelum menganalisis peta kendali, yang harus dilakukan adalah melakukan uji MANOVA *one-way* untuk menentukan subgrup dan perbedaan fase. Namun langkah awal sebelum melakukan pengujian perbedaan antar *shift* dan perbedaan fase adalah melihat karakteristik dari keseluruhan data dengan statistika deskriptif dan histogram.

4.2 Statistika Deskriptif

Berdasarkan data yang diperoleh dari perusahaan yaitu data proses produksi pupuk super dolomit, terdapat 2 variabel kualitas yaitu kadar H_2O dan US MESH-100. Dari data pada Lampiran 1 dan 2 yang diperoleh selama dua periode dapat diketahui nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, dan nilai varians. Berikut adalah hasil dari statistika deskriptif.

Tabel 4.1 Statistika Deskriptif

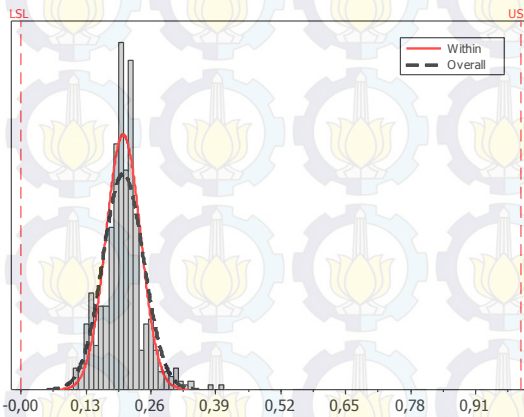
Variabel	n	Rata-rata	Varians	Min.	Maks.	Batas Spesifikasi
H_2O	504	0,204	0,00167	0,11	0,4	0-1%
US MESH-100	504	98,234	0,248	96,35	99,72	95-100%

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai rata-rata kandungan H_2O sebesar 0,204% dimana nilai tersebut termasuk dalam batas spesifikasi perusahaan yaitu 0-1%. Nilai maksimum

dan minimum kandungan H_2O secara berturut-turut sebesar 0,11% dan 0,4%. Nilai keragaman H_2O dari 504 sampel pengamatan proses produksi pupuk super dolomit sangat kecil yaitu sebesar 0,00167, hal tersebut menunjukkan kehomogenan data sangat besar.

Untuk variabel US MESH-100 didapatkan informasi bahwa keragaman dari pengambilan 504 sampel pengamatan keragaman data sangat kecil yaitu sebesar 0,248. Nilai rata-rata dari variabel US MESH-100 sebesar 98,234%, hal tersebut sudah termasuk dalam batas spesifikasi yaitu 95-100%. Nilai minimum dan maksimum dari variabel US MESH-100 masing-masing sebesar 96,35% dan 99,72%.

Setelah melihat karakteristik data secara statistika deskriptif, selanjutnya dapat juga dilihat melalui histogram dengan batas spesifikasi masing-masing variabel. Berikut adalah histogram masing-masing variabel.

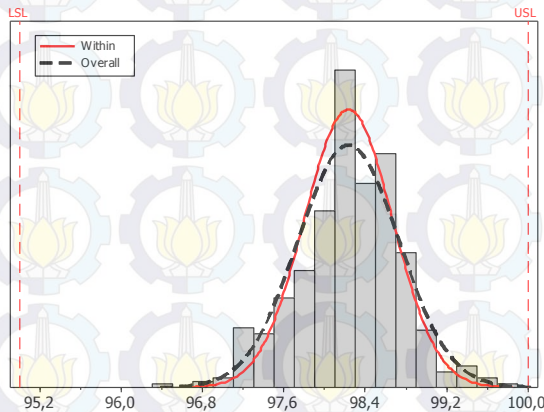


Gambar 4.1 Histogram Variabel H_2O

Berdasarkan Gambar 4.1 yaitu histogram dari variabel H_2O pada data Lampiran 1 dan 2 menunjukkan bahwa garis vertikal putus-putus berwarna merah adalah batas spesifikasi kandungan H_2O . Garis horisontal merupakan nilai titik tengah dari interval yang didapatkan. Gambar 4.1 didapatkan informasi bahwa data pengamatan dari variabel H_2O berdistribusi normal, sebab bentuk

histogram tersebut simetris. Semua pengamatan variabel H_2O termasuk dalam batas spesifikasi yaitu 0-1%. Dari gambar histogram di atas juga menunjukkan keragaman data sangat kecil.

Histogram dari variabel US MESH-100 secara keseluruhan dengan memperhatikan batas spesifikasi adalah sebagai berikut.



Gambar 4.2 Histogram Variabel US MESH-100

Berdasarkan Gambar 4.2 yaitu histogram dari variabel US MESH-100 pada data Lampiran 1 dan 2 menunjukkan bahwa garis vertikal putus-putus berwarna merah adalah batas spesifikasi variabel US MESH-100. Garis horisontal merupakan nilai titik tengah dari interval yang didapatkan. Gambar 4.2 didapatkan informasi bahwa data pengamatan dari variabel US MESH-100 telah berdistribusi normal, sebab bentuk histogram tersebut simetris. Semua pengamatan variabel US MESH-100 termasuk dalam batas spesifikasi yaitu 95-100%. Dari gambar histogram di atas juga menunjukkan keragaman data cukup kecil.

4.3 Pengujian Perbedaan Antar *Shift*

Pengujian perbedaan antar *shift* dapat dilakukan dengan metode MANOVA, dengan asumsi yang harus dipenuhi yaitu sampel acak dari populasi yang berbeda saling dependen, matriks varian kovarian homogen dan populasi berdistribusi normal multivariat. Untuk pemeriksaan populasi berdistribusi normal

dilakukan pada saat pemeriksaan asumsi pengendalian kualitas. Berikut adalah hasil pengujian MANOVA perbedaan *shift*.

4.3.1 Pengujian Homogenitas Varians

Untuk menguji perbedaan antar *shift* berpengaruh terhadap variabel kualitas produksi pupuk super dolomit maka digunakan uji MANOVA. Salah satu asumsinya adalah matriks varian kovarian dari masing-masing *shift* kerja harus sama. Adapun hasil pengujian varian kovarian tersebut adalah.

Hipotesis

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma_3$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_i \neq \Sigma_j \text{ untuk } i \neq j$$

Daerah penolakan dari hipotesis tersebut adalah Tolak H_0 jika F_{hit} lebih dari $F_{0,05(df_1;df_2)}$ atau *P-value* kurang dari taraf signifikan yang telah ditetapkan yaitu sebesar 5%.

Uji homogenitas varians dengan menggunakan Box's M berdasarkan data pada Lampiran 1 sesuai dengan hasil *output* Lampiran 6a diperoleh hasil nilai F_{hit} sebesar 2,968, derajat bebas 1 (df_1) sebesar 6, derajat bebas 2 (df_2) sebesar 1697784,923 serta *P-value* sebesar 0,007. Karena nilai F_{hit} (2,968) lebih besar dari $F_{0,05(6;6255717,231)}$ (2,099) dan nilai *P-value* lebih kecil dari taraf signifikan yaitu 0,007 lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa tolak H_0 artinya minimal ada satu dari matrik varian kovarian *shift* kerja untuk tidak sama atau heterogen.

4.3.2 MANOVA One-Way

Data kualitas proses produksi pupuk super dolomit yang diperoleh dari perusahaan bulan Desember 2015 terdapat dua variabel yang diukur yaitu H_2O dan US MESH-100. Pelaksanaan proses produksi di perusahaan terbagi menjadi tiga *shift* kerja. Untuk menguji apakah terdapat perbedaan *shift* terhadap hasil produksi, dilakukan pengujian MANOVA. Berikut adalah hasil pengujian tersebut.

Hipotesis

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \tau_l \neq 0, l = 1, 2, 3$$

Statistik uji yang digunakan adalah uji Wilk's. Daerah penolakan pada uji tersebut tolak H_0 jika $\Lambda^* > \chi^2_{p(g-1);(\alpha)}$ atau *P-value* lebih kecil dari taraf signifikan yang ditentukan yaitu 5%.

Berdasarkan data pada Lampiran 1 dan hasil pengujian pada Lampiran 7a dapat diketahui nilai Λ^* sebesar 0,962 dan nilai *P-value* sebesar 0,037. Karena nilai Λ^* lebih besar dari $\chi^2_{2(3-1);(0,05)}$ yaitu 0,962 lebih besar dari 0,711 atau *P-value* lebih kecil dari taraf signifikan yaitu 0,037 lebih kecil dari 0,05. Sehingga dapat disimpulkan minimal ada satu *shift* kerja yang memberikan perbedaan terhadap variabel kualitas, artinya terdapat perbedaan hasil proses produksi di setiap *shift* kerja. Maka subgrup yang digunakan untuk membuat peta kendali adalah berdasarkan *shift* kerja.

4.4 Pengujian Perbedaan Antar Fase

Pengujian perbedaan antar fase dapat dilakukan dengan metode MANOVA, tujuan melakukan pengujian MANOVA untuk melihat perbedaan antara fase 1 dan fase 1, jika terdapat perbedaan antara fase 1 dan fase 2 maka batas kendali yang digunakan fase 2 berbeda dengan fase 1, namun jika tidak terdapat perbedaan maka batas kendali fase 2 sama dengan fase 1. Berikut adalah hasil pengujian MANOVA perbedaan fase.

4.4.1 Pengujian Homogenitas Varians

Untuk menguji perbedaan antar *shift* berpengaruh terhadap variabel kualitas produksi pupuk super dolomit maka digunakan uji MANOVA. Salah satu asumsinya adalah matriks varian kovarian dari masing-masing *shift* kerja harus sama. Adapun hasil pengujian varian kovarian tersebut adalah.

Hipotesis

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_i \neq \Sigma_j \text{ untuk } i \neq j$$

Daerah penolakan dari hipotesis tersebut adalah Tolak H_0 jika F_{hit} lebih dari $F_{0,05(df1;df2)}$ atau *P-value* kurang dari taraf signifikan yang telah ditetapkan yaitu sebesar 5%.

Uji homogenitas varians dengan menggunakan Box's M berdasarkan data pada Lampiran 1 dan 2 serta hasil *output* Lampiran 6b diperoleh hasil nilai F_{hit} sebesar 0,915, derajat bebas 1 (df_1) sebesar 3, derajat bebas 2 (df_2) sebesar 63670106,401 serta *P-value* sebesar 0,433. Karena nilai F_{hit} (0,915) lebih kecil dari $F_{0,05(3;63670106,401)}$ (2,605) dan nilai *P-value* lebih besar dari taraf signifikan yaitu 0,433 lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa gagal tolak H_0 artinya salah satu dari matrik varian kovarian fase sama atau homogen. Asumsi homogenitas varians telah terpenuhi, selanjutnya akan dilanjutkan untuk pengujian MANOVA.

4.4.2 MANOVA *One-Way*

Data kualitas proses produksi pupuk super dolomit yang diperoleh dari perusahaan terdapat dua fase yaitu fase 1 (Desember 2015) dan fase 2 (Januari 2016). Untuk menguji apakah terdapat perbedaan fase terhadap penentuan batas kendali, dilakukan pengujian MANOVA. Berikut adalah hasil pengujian tersebut.

Hipotesis

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \tau_l \neq 0, l = 1, 2$$

Statistik uji yang digunakan adalah uji Wilk's. Daerah penolakan pada uji tersebut tolak H_0 jika $\Lambda^* > \chi^2_{p(g-1);(\alpha)}$ atau *P-value* lebih kecil dari taraf signifikan yang ditentukan yaitu 0,27%.

Berdasarkan data pada Lampiran 1 dan 2 serta hasil pengujian pada Lampiran 7b dapat diketahui nilai Λ^* sebesar 0,997 dan nilai *P-value* sebesar 0,483. Karena nilai *P-value* lebih besar dari taraf signifikan yaitu 0,483 lebih besar dari 0,0027. Sehingga dapat disimpulkan fase tidak memberikan perbedaan terhadap variabel kualitas, artinya tidak terdapat perbedaan hasil proses produksi di setiap fase.

4.5 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi

Sebelum melakukan analisis pengendalian proses dengan menggunakan peta kendali multivariat, asumsi yang harus dipenuhi adalah dependensi antar variabel dan data berdistribusi

normal multivariat. Berikut ini adalah hasil dari pemeriksaan asumsi tersebut.

4.5.1 Pengujian Dependensi Antar Variabel

Asumsi pertama yang harus dipenuhi adalah terdapat hubungan antar variabel atau karakteristik kualitas dari proses produksi pupuk dolomit, yaitu kadar kandungan variabel H₂O dan US MESH-100. Metode yang digunakan untuk melakukan pengujian independensi adalah metode korelasi *pearson* bivariat dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : \rho = 0$ (variabel H₂O dan US MESH-100 tidak ada hubungan)

$H_1 : \rho \neq 0$ (variabel H₂O dan US MESH-100 ada hubungan)

Untuk mengetahui apakah H_0 ditolak atau tidak dengan menggunakan taraf signifikan sebesar 5% dan statistik uji korelasi *pearson* berdasarkan data pada Lampiran 1 dan 2 dan hasil yang sesuai dengan *output* pada Lampiran 5, maka diperoleh nilai sebesar 0,220 dan nilai $R_{0,05;504}$ sebesar 0,088, didapatkan keputusan tolak H_0 karena nilai koefisien korelasi *pearson* lebih besar dari nilai $R_{0,05;502}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai matriks korelasi tidak sama dengan matriks identitas, yang artinya antara variabel kadar kandungan H₂O dan US MESH-100 saling berhubungan.

4.5.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

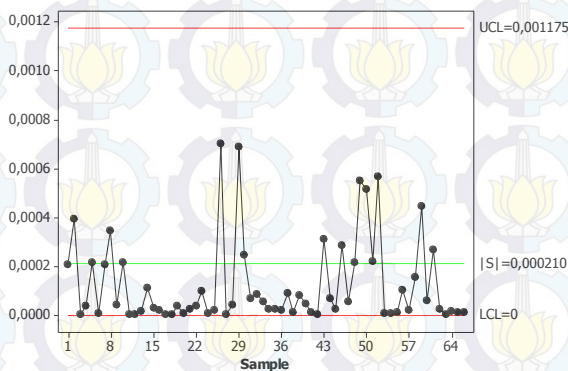
Asumsi selanjutnya yang harus dipenuhi adalah kedua variabel yaitu kadar kandungan variabel H₂O dan US MESH-100 berdistribusi normal multivariat. Untuk dapat mengetahui apakah kedua variabel tersebut berdistribusi normal multivariat atau tidak, dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan *macro minitab* yang terdapat pada Lampiran 3 dan data pada Lampiran 1 dan 2 menghasilkan proporsi sebesar 0,55 hasil tersebut sesuai pada Lampiran 4, dimana nilai proporsi tersebut berada disekitar 50% atau 0,5. Sehingga dapat disimpulkan data proses produksi pupuk super dolomit mengikuti distribusi normal multivariat sehingga pemeriksaan asumsi sudah terpenuhi maka dapat dilakukan untuk analisis pengendalian proses *mean* dan *varians*.

4.6 Analisis Pengendalian Proses Varians dan Mean

Setelah kedua asumsi terpenuhi yaitu dependensi antar variabel dan data berdistribusi normal multivariat, langkah selanjutnya adalah menganalisis pengendalian proses varians dan *mean*. Secara multivariat, pengendalian proses varians menggunakan peta kendali *Generalized Variance*, sedangkan pengendalian *mean* menggunakan peta kendali T^2 Hotelling. Berikut ini adalah hasil dari analisis pengendalian proses produksi pupuk super dolomit berdasarkan varians dan *mean*.

4.6.1 Pengendalian Kualitas Fase 1

Analisis pengendalian proses varians dilakukan dengan menggunakan peta kendali *generalized variance* dan proses *mean* menggunakan peta kendali T^2 Hotelling. Hasil analisis pengendalian proses varians berdasarkan data proses produksi pupuk super dolomit dengan variabel atau karakteristik kualitas kadar H_2O dan US MESH-100 pada fase 1 yaitu data pada Lampiran 1 dapat dilihat pada Gambar 4.1.

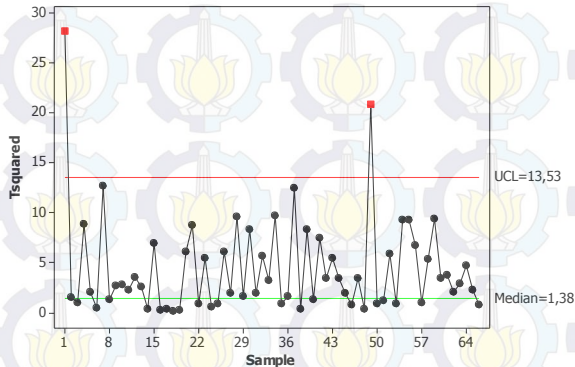


Gambar 4.3 Peta Kendali *Generalized Variance* Fase 1

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa angka 1, 8, ... dst secara horisontal merupakan banyaknya pengamatan, sedangkan nilai secara vertikal merupakan nilai plot peta kendali *generalized variance* berdasarkan perhitungan. Nilai UCL merupakan nilai batas kendali atas dari plot peta kendali. Pada peta kendali

generalized variance fase 1 tersebut ditunjukkan bahwa nilai horisontal merupakan jumlah data observasi yaitu sebanyak 66 pengamatan sesuai dengan umus perhitungan peta kendali *generalized variance*. Pada peta kendali tersebut didapatkan informasi bahwa nilai batas kendali atas sebesar 0,001175, nilai batas kendali bawah sebesar 0 dan plot-plot berada pada selang interval antara batas kendali bawah dan atas atau tidak ada proses yang berada diluar batas kendali. Hal tersebut dapat dikatakan varians proses produksi pupuk super dolomit telah terkendali secara statistik, sehingga dapat dilanjutkan pada analisis selanjutnya yaitu peta kendali T^2 Hotelling untuk memonitoring proses *mean*.

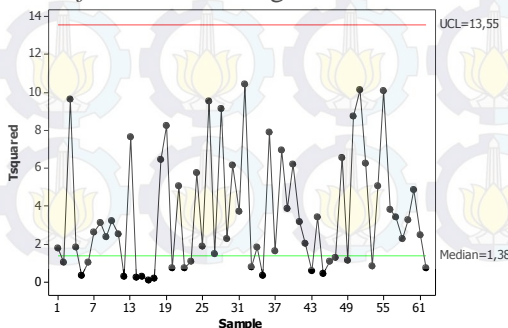
Selanjutnya dapat dilakukan evaluasi karakteristik kualitas proses pupuk super dolomit menggunakan peta kendali T^2 Hotelling. Pada peta kendali T^2 Hotelling berikut disajikan peta pengendalian kualitas berdasarkan nilai rata-rata proses produksi dari kedua variabel. Gambar 4.4 adalah peta kendali T^2 Hotelling fase 1 dengan data pada Lampiran 1.



Gambar 4.4 Peta Kendali T^2 Hotelling Fase 1

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai secara horisontal merupakan banyaknya pengamatan, sedangkan nilai secara vertikal merupakan nilai plot peta kendali T^2 Hotelling sesuai perhitungan. Nilai UCL adalah nilai batas kendali atas dari plot peta kendali. Nilai median merupakan nilai tengah dari data pengamatan. Pada

peta kendali T^2 Hotelling fase 1 ditunjukkan bahwa nilai horisontal adalah banyaknya pengamatan pada peta kendali T^2 Hotelling yakni sebanyak 66 pengamatan. Pada peta kendali T^2 Hotelling fase 1, nilai batas kendali atas sebesar 13,53 dan nilai median sebesar 1,38. Pada peta kendali T^2 Hotelling fase 1 didapatkan informasi bahwa terdapat dua pengamatan yang mengalami *out of control*, yaitu pada pengamatan 1 (01-12-2015, shift 1) dan 49 (21-12-2015, shift 1), namun terdapat pengamatan yang mendekati batas kendali, hal tersebut juga mengindikasikan pengamatan mempunyai kemungkinan *out of control* yaitu pengamatan 7 (03-12-2015, shift 1) dan 37 (15-12-2015, shift 1). Adanya data pengamatan yang *out of control* ataupun yang mendekati batas atas, menunjukkan bahwa proses produksi pupuk super dolomit pada fase 1 belum terkendali secara statistik. Hal tersebut membutuhkan analisis lebih lanjut untuk mencari penyebab dari pengamatan yang *out of control*. Berdasarkan wawancara yang dilakukan dengan kepala bagian produksi pupuk super dolomit PT Polowijo Gosari, ketidaksesuaian hasil produksi pupuk super dolomit disebabkan oleh bahan baku, sebab bahan baku (batuan dolomit) sangat bergantung pada cuaca. Setelah diketahui penyebabnya maka dapat dilakukan perbaikan proses. Andalkan perbaikan proses tidak memungkinkan dilakukan, langkah selanjutnya adalah dilakukan perbaikan batas kendali dengan cara menghilangkan data pengamatan yang *out of control* dan yang mendekati batas kendali dan dibuat peta kendali baru agar terkendali dalam *mean* proses, berikut disajikan peta kendali T^2 Hotelling fase 1 setelah pengamatan *out of control* dihilangkan.

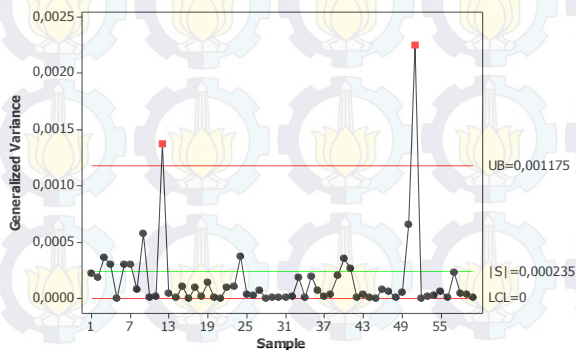


Gambar 4.5 Peta Kendali T^2 Hotelling Fase 1 Setelah Perbaikan

Pada Gambar 4.5 data yang digunakan terdapat pada Lampiran 1 setelah pengamatan ke-1, 7, 37, dan 48 dihilangkan. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai horisontal merupakan banyaknya pengamatan pada peta kendali T^2 Hotelling yakni sebanyak 62 pengamatan. Pada peta kendali T^2 Hotelling fase 1 iterasi 3, batas kendali yang digunakan adalah rumus batas kendali dari peta kendali T^2 Hotelling fase 1 sesuai dengan peta kendali atas sebesar 13,55 dan nilai median sebesar 1,38. Pada peta kendali T^2 Hotelling fase 1 setelah perbaikan ditunjukkan bahwa semua pengamatan tidak ada yang keluar dari batas kendali, sehingga dapat disimpulkan bahwa peta kendali T^2 Hotelling fase 1 setelah menghilangkan pengamatan ke-1, 7, 37 dan 49 telah terkendali. Selanjutnya dilakukan evaluasi variabilitas dan *mean* proses terhadap proses produksi pupuk super dolomit fase 2 dengan batas kendali fase 1 yang telah terkendali.

4.6.2 Pengendalian Kualitas Fase 2

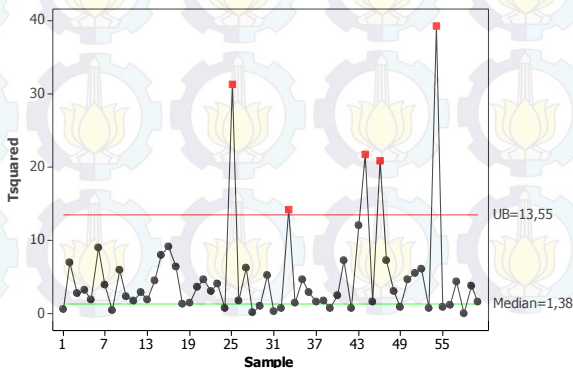
Pengendalian kualitas pada fase 2 ini, batas kendali yang digunakan adalah batas kendali hasil peta kendali pada fase 1. Batas kendali yang digunakan pada peta kendali *generalized variance* pada fase 1 adalah yang telah terkendali dan pada peta kendali T^2 Hotelling fase 1 yang digunakan adalah batas kendali saat pengamatan ke-1 dan 49 dihilangkan. Gambar 4.6 adalah hasil pengendalian kualitas pada fase 2 dengan data pada Lampiran 2.



Gambar 4.6 Peta Kendali *Generalized Variance* Fase 2

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai secara horisontal merupakan banyaknya pengamatan, sedangkan nilai secara vertikal merupakan nilai plot peta kendali *generalized variance* berdasarkan perhitungan. Nilai UB merupakan nilai batas kendali atas dari hasil peta kendali fase 1. Pada peta kendali *generalized variance* fase 2 tersebut ditunjukkan bahwa nilai horisontal merupakan jumlah data observasi yaitu sebanyak 60 pengamatan sesuai dengan rumus perhitungan peta kendali *generalized variance*. Pada peta kendali tersebut didapatkan informasi bahwa nilai batas kendali atas sebesar 0,001175, nilai batas kendali bawah sebesar 0. Terdapat plot pengamatan yang keluar yaitu pengamatan ke-12 (10-01-2016, shift 1) dan 51 (24-01-2016, shift 2). Data pengamatan yang *out of control* tersebut tidak dihilangkan namun hanya untuk dimonitoring, dengan adanya plot-plot yang mengalami *out of control*, maka dapat diketahui bahwa variabilitas proses produksi pupuk super dolomit pada fase 2 dibandingkan dengan variabilitas proses fase 1 tidak mengalami pengendalian kualitas yang cukup baik. Pada fase 2, variabilitas kualitas proses produksi pupuk super dolomit masih belum terkendali secara statistik.

Selanjutnya dapat dilakukan evaluasi karakteristik kualitas proses pupuk super dolomit menggunakan peta kendali T^2 Hotelling. Batas kendali yang digunakan pada peta kendali T^2 Hotelling fase 2 adalah batas kendali saat pengamatan ke-1 dan 49 dihilangkan. Gambar 4.7 adalah peta kendali T^2 Hotelling fase 2 dengan data pada Lampiran 2.



Gambar 4.7 Peta Kendali T^2 Hotelling Fase 2

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai secara horisontal merupakan banyaknya pengamatan, sedangkan nilai secara vertikal merupakan nilai plot peta kendali T^2 Hotelling sesuai perhitungan. Nilai UB adalah nilai batas kendali atas dari plot peta kendali T^2 Hotelling fase 1. Nilai median merupakan nilai tengah dari data pengamatan. Pada peta kendali T^2 Hotelling fase 2 ditunjukkan bahwa nilai horisontal adalah banyaknya pengamatan pada peta kendali T^2 Hotelling yakni sebanyak 60 pengamatan. Pada peta kendali T^2 Hotelling fase 2, batas kendali yang digunakan adalah rumus batas kendali dari peta kendali T^2 Hotelling fase 1 sesuai rumus yaitu nilai batas kendali atas sebesar 13,55 dan nilai median sebesar 1,38. Pada peta kendali T^2 Hotelling fase 2 didapatkan informasi bahwa terdapat lima pengamatan yang mengalami *out of control*, yaitu pada pengamatan 25 (11-12-2015, shift 3), 33 (14-12-2015, shift 2), 44 (20-12-2015, shift 2), 46 (21-12-2015, shift 2) dan 54 (28-12-2015, shift 1). Data pengamatan yang *out of control* tersebut tidak dihilangkan namun hanya untuk dimonitoring, dengan adanya plot-plot yang mengalami *out of control*, maka dapat diketahui bahwa *mean* proses produksi pupuk super dolomit pada fase 2 dibandingkan dengan variabilitas proses fase 1 tidak mengalami pengendalian kualitas yang cukup baik. Pada fase 2, variabilitas kualitas proses produksi pupuk super dolomit masih belum terkendali secara statistik.

4.7 Penentuan Indeks Kapabilitas Proses

Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan peta kendali multivariat, diperoleh peta T^2 Hotelling pada fase 1 terkendali dan fase 2 tidak terkendali. Langkah selanjutnya adalah menghitung indeks kapabilitas proses C_p dan C_{pk} untuk fase 1 dan indeks performa proses P_p dan P_{pk} untuk fase 2, sebab proses produksi pupuk super dolomit tidak dalam keadaan *in control*. Nilai C_p dan C_{pk} untuk mengetahui seberapa besar kemampuan proses produk pupuk super dolomit yang sesuai dengan batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan. Tabel 4.2 adalah hasil pengukuran kapabilitas proses secara univariat berdasarkan data

pada Lampiran 1 setelah pengamatan ke-1, 7, 37, dan 49 dihilangkan serta sesuai dengan *output* minitab pada Lampiran 8.

Tabel 4.2 Indeks Kapabilitas Proses Univariat Fase 1

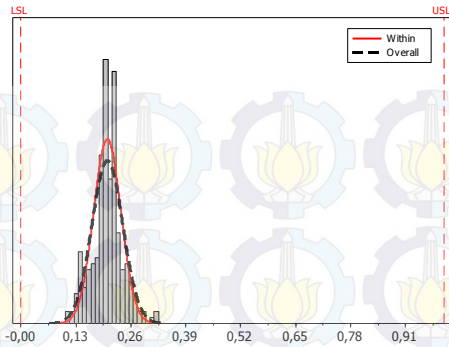
Variabel	Fase 1	
	C _p	C _{pk}
H ₂ O	5,16	2,11
US MESH-100	1,9	1,34

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa setiap variabel kualitas pada fase 1 secara univariat mempunyai indeks kapabilitas proses yang lebih dari satu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk super dolomit pada fase 1 atau produksi bulan Desember 2015 secara univariat telah kapabel. Artinya tingkat presisi dan akurasinya baik. Nilai presisi adalah kedekatan antar pengamatan dan nilai akurasi adalah kedekatan dengan nilai target yang ditentukan perusahaan. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan indeks kapabilitas secara multivariat berdasarkan nilai C_p dan C_{pk} pada Tabel 4.2. Berikut ini adalah perhitungan indeks kapabilitas multivariat pada fase 1.

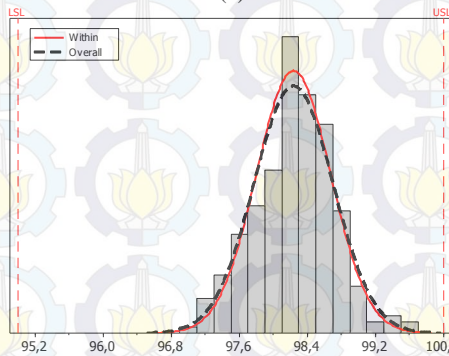
$$MC_p = (0,5 \times 5,16) + (0,5 \times 1,9) = 3,53$$

$$MC_{pk} = (0,5 \times 2,11) + (0,5 \times 1,34) = 1,725$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai indeks kapabilitas proses produksi pupuk super dolomit secara multivariat yaitu baik nilai MC_p dan MC_{pk} di fase satu sudah lebih dari 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses produksi pupuk super dolomit pada fase 1 yaitu bulan Desember 2015 sudah kapabel, baik secara rata-rata dan variabilitas. Nilai MC_p menunjukkan nilai presisi atau kedekatan antar pengamatan sangat tinggi atau variabilitasnya kecil. Sedangkan nilai MC_{pk} menunjukkan nilai akurasi atau nilai kedekatan dengan nilai target yang ditentukan perusahaan. Nilai presisi dan akurasi tersebut, melebihi nilai satu. Artinya nilai kemampuan proses produksi pupuk super dolomit pada bulan Desember 2015 telah kapabel. Secara grafik dapat digambarkan sebagai berikut.



(a)



(b)

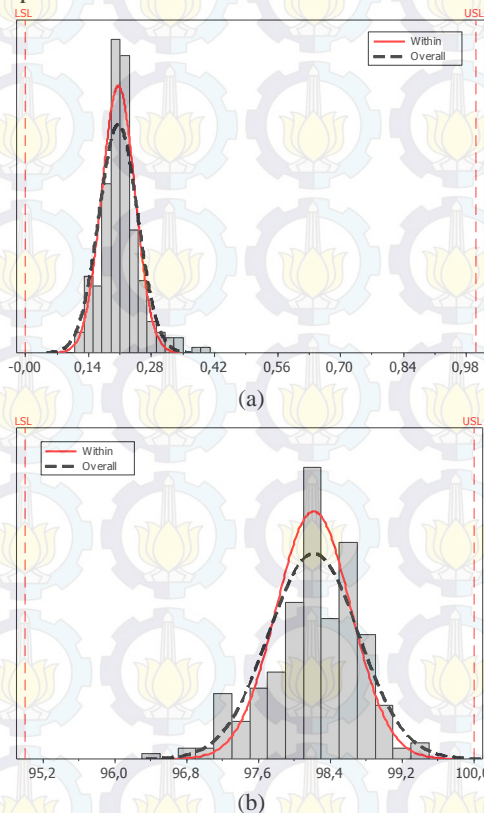
Gambar 4.8 Histogram Fase 1 (a) Variabel H₂O dan (b) Variabel US MESH-100

Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses produksi pupuk super dolomit pada fase 2 dengan menggunakan nilai Pp dan Ppk secara univariat dan multivariat, sebab proses produksi pupuk super dolomit pada fase 2 tidak terkendali secara statistik. Tabel 4.3 adalah hasil Pp dan Ppk berdasarkan data pada Lampiran 2 dan hasil sesuai Lampiran 9.

Tabel 4.3 Indeks Kapabilitas Proses Univariat Fase 2

Variabel	Fase 2	
	Pp	Ppk
H ₂ O	3,88	1,6
US MESH-100	1,65	1,18

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai indeks kapabilitas proses secara univariat yaitu nilai Pp dan Ppk variabel H₂O fase 2 secara berturut-turut sebesar 2,88 dan 1,6. Sedangkan nilai Pp dan Ppk variabel US MESH-100 fase 2 secara berturut-turut sebesar 1,65 dan 1,18. Hal tersebut menunjukkan bahwa indeks kemampuan proses sudah lebih dari satu, sehingga secara univariat proses produksi pupuk super dolomit fase 2 telah kapabel, artinya presisi dan akurasi tinggi. Secara grafik dapat digambarkan sebagai berikut pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Histogram Fase 2 (a) Variabel H₂O, dan (b) Variabel US MESH-100

Langkah selanjutnya, nilai Pp dan Ppk tersebut digunakan untuk menghitung indeks kapabilitas proses secara multivariat.

Pembobotan yang digunakan untuk masing-masing variabel adalah 0,5, sebab kedua variabel memiliki sama pentingnya dalam menentukan proses produksi pupuk dolomit. Total pembobot berdasarkan kepentingan tersebut harus sama dengan 1. Berikut adalah perhitungan secara manual untuk menghitung indeks kapabilitas proses secara multivariat.

$$MP_p = (0,5 \times 3,88) + (0,5 \times 1,65) = 2,765$$

$$MP_{pk} = (0,5 \times 1,6) + (0,5 \times 1,18) = 1,39$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai peforma proses produksi pupuk super dolomit secara multivariat yaitu baik nilai MPp dan MPpk di kedua fase sudah lebih dari 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses produksi pupuk super dolomit sudah kapabel, baik secara rata-rata dan variabilitas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian analisis dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan bahwa proses produksi pupuk super dolomit fase 1 tidak dalam keadaan terkendali karena terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali. Setelah dilakukan analisis pada fase 2 atau pada bulan Desember 2015 dengan batas kendali sama dengan fase 1 yaitu bulan Januari 2016, terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali pada fase 2, pada fase 1 tidak terdapat pengamatan yang di luar batas kendali. Nilai indeks kapabilitas proses secara multivariat fase 1 dan fase 2 berturut-turut sebesar 3,53 dan 2,765 artinya proses produksi pupuk super dolomit telah kapabel.

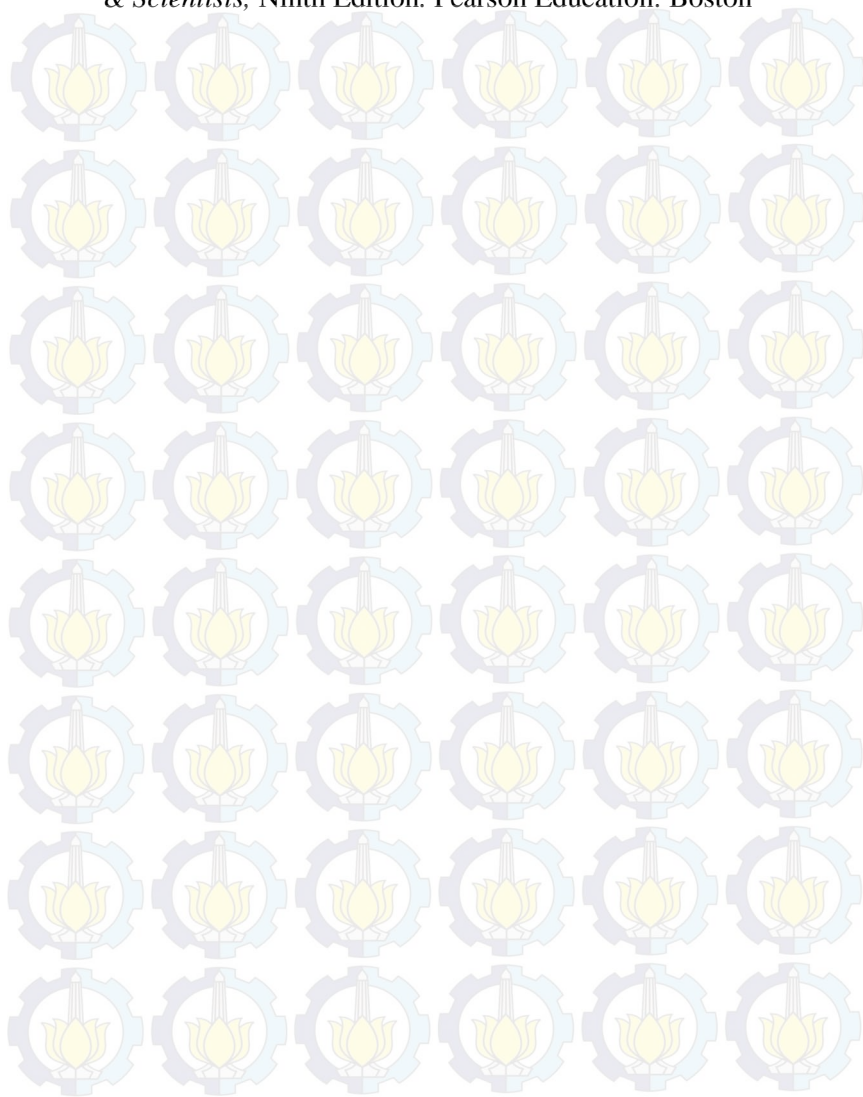
5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini yaitu dilakukan pendataan tentang segala hal yang terjadi saat produksi, jika terjadi ketidaksesuaian agar dapat diketahui penyebabnya dan dilakukan proses perbaikan. Serta perusahaan dianjurkan menggunakan analisis statistika dalam melakukan pengendalian setiap proses produksi untuk mengetahui variabilitas dan karakteristik kualitas produksi pupuk super dolomit di tiap bulannya, apakah terjadi peningkatan kualitas yang membaik atau memburuk, karena meskipun hasil pengamatan semua masuk dalam batas spesifikasi namun setelah dianalisis masih terdapat pengamatan yang tidak terkendali. Dengan adanya evaluasi kualitas tersebut maka dapat diambil langkah strategis untuk melakukan perbaikan berkesinambungan pada kualitas produk pupuk super dolomit, sehingga dapat memperkecil jumlah produk cacat serta kualitas produksi selalu dalam keadaan terkendali dan kapabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. (2000). *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press: Bogor
- Gosari, P. (n.d.). *Pupuk Super dolomit dan Company Profile PT Polowijo Gosari*. Retrieved from <http://www.polowijo-gosari.com>
- Heizer, J., & Render B. (2009). *Operation Management*. Salemba Empat: Jakarta
- Johnson, R. A., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kotz, S., & Johnson, N.L. (1993). *Process Capabilty Indices*. Suffolk: Chapman & Hall
- Kurnia, J. D. (2013). *Analisis Kapabilitas Proses Produksi Monosodium Glutamat (MSG) di PT. Ajinomoto Indonesia*. Surabaya: Statistika FMIPA ITS
- Maharani, M. D. (2012). *Size Reduction (Pengecilan Ukuran)*. Universitas Brawijaya: Malang
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*, Sixth Edition. United States of America.
- Mufidah, A. S. (2014). *Pengendalian Kualitas Statistik Produk Pupuk Phonska di PT Petrokimis Gresik Tbk*. Surabaya: Statistika FMIPA ITS.
- Raissi, S. (2009). Multivariate process capability indices on the presence of priority for quality characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol. 5, No. 9, 27-36.
- Setiawan, & Kusrini, D. E. (2010). *Ekonometrika*. Yogyakarta: ANDI OFFSET.
- Suriadikarta, D. A., Setyorini, D., & Hartatik, W. (2004). *Uji Mutu dan Efektivitas Pupuk Alternatif Anorganik, Edisi Pertama*. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Puslitbangtanak, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Sweco (n.d.). *Particle Size to Screen Mesh Conversion Chart*. Retrived from http://www.sweco.com/pdf/p_pro_wiremesh_table1.pdf

Walpole, R. E., dkk. (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*, Ninth Edition. Pearson Education: Boston



LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Proses Produksi Pupuk Super Dolomit Bulan Desember 2015

Date	Shift	Variabel		Date	Shift	Variabel	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
01-Des	1	0,14	99,72	03-Des	7	0,11	98,39
		0,13	98,64			0,13	97,83
		0,14	99,69			0,19	99,45
		0,19	98,94			0,18	99,15
	2	0,19	97,62		8	0,22	98,76
		0,2	99,21			0,21	98,96
		0,2	97,94			0,25	97,89
		0,14	98,4			0,2	97,08
	3	0,19	97,93		9	0,18	97,25
		0,19	98,05			0,23	98,16
		0,19	98,12			0,2	98,2
		0,22	98,06			0,22	97,93
02-Des	4	0,11	97,49	04-Des	10	0,19	98,93
		0,16	98,68			0,14	98,63
		0,16	98,35			0,29	98,57
		0,2	99,63			0,19	98,36
	5	0,21	98,58		11	0,21	98,3
		0,2	98,22			0,17	97,7
		0,29	97,53			0,18	97,85
		0,19	97,94			0,19	98,17
	6	0,21	98,36		12	0,23	98,11
		0,21	98,15			0,24	98,51
		0,19	98,18			0,22	98,32
		0,22	97,77			0,24	98,14

Date	Shift	Variabel		Date	Shift	Variabel	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
05-Des	13	0,2	97,78	07-Des	19	0,2	97,4
		0,2	97,23			0,2	98,63
		0,21	98,28			0,22	98,27
		0,19	98,31			0,22	98,79
	14	0,21	98,49		20	0,19	97,73
		0,2	98,74			0,22	97,59
		0,18	98,16			0,15	98,13
		0,22	97,13			0,14	98,06
	15	0,22	98,77		21	0,26	97,27
		0,18	98,87			0,24	97,81
		0,22	99,23			0,26	97,81
		0,19	98,49			0,22	98,72
06-Des	16	0,19	98,13	08-Des	22	0,24	97,62
		0,15	98,17			0,21	98,16
		0,22	98,36			0,22	98,7
		0,23	98,07			0,2	98,3
	17	0,2	97,8		23	0,22	98,46
		0,21	98,46			0,23	97,39
		0,22	98,16			0,27	97,79
		0,22	98,53			0,22	98,16
	18	0,22	98,14		24	0,2	98,46
		0,2	98,42			0,22	98,49
		0,21	98,4			0,17	98,42
		0,2	98,15			0,19	98,17
11-Des	25	0,16	98,64	13-Des	31	0,17	98,94
		0,2	98,04			0,2	98,64
		0,18	98,02			0,19	98,11

Date	Shift	Variabel		Date	Shift	Variabel	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
	26	0,21	98,12		32	0,23	98,55
		0,2	98,61			0,13	97,56
		0,23	98,68			0,21	98,25
		0,22	97,58			0,19	98,21
		0,32	97,84			0,14	98,2
	27	0,18	97,46		33	0,17	98,67
		0,21	98,17			0,19	98,36
		0,21	97,87			0,2	99,35
		0,22	98,25			0,16	97,74
	12-Des	0,24	98,57		34	0,14	98,4
		0,32	98,52			0,15	98,15
		0,2	98,33			0,2	98,15
		0,23	98,64			0,12	98,04
	29	0,14	98,18		35	0,18	97,8
		0,21	97,19			0,19	97,76
		0,25	98,53			0,24	98,21
		0,22	97,98			0,22	98,43
	30	0,2	98,24		36	0,23	98,64
		0,11	98,11			0,24	98,44
		0,13	98,67			0,16	98,63
		0,19	98,92			0,2	98,38
15-Des	37	0,12	98,06	19-Des	43	0,26	98,45
		0,15	98,02			0,18	99,07
		0,13	98,81			0,17	98,88
		0,18	98,29			0,12	98,47
	38	0,22	97,99		44	0,2	98,79
		0,19	98,27			0,23	98,57

Date	Shift	Variabel		Date	Shift	Variabel	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
18-Des		0,21	98,46	20-Des		0,25	97,36
		0,22	98,57			0,25	98,04
		0,24	97,3		45	0,19	98,21
	39	0,22	98,04			0,27	98,61
		0,26	98,4			0,22	98,56
		0,22	97,29			0,19	98,51
	40	0,22	98,14		46	0,28	97,97
		0,2	98,08			0,13	98,04
		0,14	98,57			0,23	98,55
		0,18	98,67			0,22	98,03
	41	0,25	97,69		47	0,26	97,36
		0,23	98,23			0,25	97,66
		0,25	98,45			0,14	98,13
		0,25	97,81			0,15	98,22
	42	0,16	98,4		48	0,16	98,86
		0,2	98,19			0,17	97,81
		0,17	98,19			0,22	97,9
		0,16	98,52			0,23	98,12
21-Des	49	0,3	97,22	27-Des	55	0,2	98,99
		0,31	97,23			0,17	99,39
		0,22	97,49			0,22	98,79
		0,23	98,62			0,21	98,56
	50	0,19	97,89		56	0,26	98,45
		0,28	98,32			0,27	97,68
		0,14	98,68			0,24	98,14
		0,14	98,05			0,2	97,88
	51	0,22	98,75		57	0,2	98,12

Date	Shift	Variabel		Date	Shift	Variabel	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
22-Des		0,22	98,88	28-Des		0,2	97,69
		0,17	98,6			0,2	97,98
		0,23	97,61			0,25	98,47
		0,2	99,53			0,22	97,37
	52	0,21	97,91		58	0,27	98,1
		0,14	98,44			0,2	98,17
		0,15	98,78			0,2	97,54
		0,16	98,72			0,22	97,58
	53	0,23	98,23		59	0,13	97,65
		0,2	98,26			0,13	98,38
		0,19	98,56			0,14	98,75
		0,31	97,59			0,15	98,51
	54	0,26	97,88		60	0,19	98,35
		0,22	98,23			0,17	98,64
		0,21	98,39			0,18	97,52
		0,2	98,04		64	0,19	98,42
29-Des	61	0,27	98,76			0,2	97,77
		0,25	97,48			0,18	97,44
		0,21	98,07			0,2	97,55
		0,21	99,44		65	0,22	98,23
	62	0,2	98,42			0,2	98,92
		0,21	98,44			0,22	98,75
		0,22	97,89			0,2	98,35
		0,19	98,92			0,23	97,99
	63	0,22	98,03		66	0,21	98
		0,2	98,75			0,21	98,62
		0,19	98,83			0,2	98,87

Lampiran 2. Data Proses Produksi Pupuk Super Dolomit Bulan Januari 2016

Date	Shift	Karakteristik Kualitas		Date	Shift	Karakteristik Kualitas	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
05-Jan	1	0,2	98,13	08-Jan	7	0,18	99,22
		0,18	98,03			0,2	98,24
		0,3	99,12			0,13	98,53
		0,2	97,62			0,22	98,16
	2	0,22	99,34		8	0,22	97,19
		0,21	98,38			0,22	98,81
		0,14	98,39			0,2	98,78
		0,21	98,9			0,23	98,26
	3	0,21	97,53		9	0,12	97,16
		0,22	98,41			0,13	97,83
		0,2	97,83			0,22	98,29
		0,11	98,12			0,26	97,89
07-Jan	4	0,2	98,6	09-Jan	10	0,23	98,17
		0,18	97,7			0,19	98,62
		0,22	97,08			0,19	98,65
		0,15	98,29			0,21	98,68
	5	0,22	98,73		11	0,2	98,99
		0,22	98,76			0,19	98,74
		0,18	98,07			0,2	98,38
		0,2	98,43			0,18	97,67
	6	0,31	97,16		12	0,19	96,35
		0,2	97,45			0,26	98,25
		0,23	98,06			0,19	98,66
		0,2	98,01			0,18	98,16

Date	Shift	Karakteristik Kualitas		Date	Shift	Karakteristik Kualitas	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
10-Jan	13	0,18	97,92	12-Jan	19	0,17	98,91
		0,19	98,23			0,17	98,12
		0,23	98,04			0,19	97,3
		0,21	97,52			0,21	98,24
	14	0,19	98,73		20	0,21	98,46
		0,17	98,83			0,27	98,29
		0,17	98,33			0,23	98,64
		0,17	98,1			0,22	98,5
	15	0,12	98,16		21	0,2	98,61
		0,15	98,51			0,16	98,52
		0,19	98,18			0,22	98,72
		0,16	97,66			0,16	98,57
11-Jan	16	0,2	98,89	13-Jan	22	0,26	98,79
		0,19	98,92			0,23	98,6
		0,2	98,92			0,23	97,48
		0,2	98,63			0,22	98,59
	17	0,22	97,67		23	0,14	98,78
		0,25	98,14			0,13	98,36
		0,25	97,18			0,22	98,18
		0,2	98,03			0,21	98,5
	18	0,18	98,59		24	0,23	98,97
		0,19	98,5			0,18	97,77
		0,22	98,61			0,16	98,68
		0,22	98,13			0,23	98,09
14-Jan	25	0,3	96,88	16-Jan	31	0,23	98,29
		0,28	97,36			0,21	98,29

Date	Shift	Karakteristik Kualitas		Date	Shift	Karakteristik Kualitas	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
		0,26	97,87			0,21	98,26
15-Jan	26	0,26	97,18	17-Jan	32	0,21	97,69
		0,2	98,05			0,18	98,62
		0,25	98,27			0,2	98,53
		0,23	98,68			0,18	98,19
	27	0,23	98,33		33	0,22	98,07
		0,16	98,5			0,23	97,91
		0,16	97,86			0,38	98,07
		0,2	98,9			0,22	98,37
	28	0,22	99,48		34	0,27	98,08
		0,2	98,28			0,22	97,16
		0,19	98,27			0,2	98,03
		0,2	98,26			0,18	98,39
15-Jan	29	0,22	97,81		35	0,19	98,34
		0,22	97,79			0,22	97,83
		0,2	98,1			0,14	98,91
		0,2	98,06			0,21	98,82
	30	0,23	98,1		36	0,17	98,86
		0,23	98,62			0,14	97,79
		0,27	98,56			0,2	98,19
		0,23	98,36			0,22	98,73
	37	0,23	98,42			0,14	98,08
		0,22	98,75		43	0,13	98,53
		0,21	98,16			0,16	99,08
		0,2	98,63			0,17	98,72
		0,23	98,27			0,15	98,18

Date	Shift	Karakteristik Kualitas		Date	Shift	Karakteristik Kualitas	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
19-Jan	38	0,21	98,35	21-Jan	44	0,23	97,31
		0,2	98,9			0,22	96,84
		0,27	97,85			0,22	97,13
		0,2	98,64			0,26	97,83
	39	0,21	97,54		45	0,21	98,26
		0,2	98,07			0,21	98,12
		0,14	98,42			0,19	98,8
		0,23	98,34			0,19	98,69
	40	0,22	98,68		46	0,26	97,72
		0,18	99,31			0,23	97,59
		0,16	98,29			0,26	97,89
		0,18	97,49			0,34	97,23
	41	0,31	97,95		47	0,21	98,07
		0,21	98,24			0,16	98,21
		0,21	98,31			0,14	97,6
		0,29	98,7			0,14	97,98
	42	0,19	98,65		48	0,19	98,62
		0,23	98,15			0,2	98,73
		0,22	98,37			0,19	98,27
		0,19	98,4			0,16	98,37
23-Jan	49	0,21	98,4	25-Jan	55	0,19	98,71
		0,2	97,94			0,18	97,77
		0,25	97,59			0,2	98,79
		0,18	98,16			0,22	98,27
	50	0,21	98,07		56	0,2	98,41
		0,19	98,69			0,23	98,56

Date	Shift	Karakteristik Kualitas		Date	Shift	Karakteristik Kualitas	
		H ₂ O	US Mesh-100			H ₂ O	US Mesh-100
24-Jan		0,18	98,32	26-Jan		0,18	98,52
		0,4	98,08			0,19	98,22
	51	0,13	98,05		57	0,21	98,25
		0,2	98,33			0,29	98,18
		0,33	97,29			0,28	97,62
		0,13	97,29			0,18	97,91
	52	0,18	98,1		58	0,18	98,47
		0,18	98,06			0,22	98,15
		0,11	98,07			0,2	98,61
		0,18	98,11			0,21	97,57
	53	0,19	98,07		59	0,19	98,17
		0,21	98,26			0,22	98,85
		0,18	98,62			0,19	98,82
		0,21	98,5			0,17	98,55
	54	0,31	97,07		60	0,25	98,2
		0,26	97,24			0,13	98,11
		0,23	97,33			0,17	98,11
		0,34	97,29			0,19	98,08

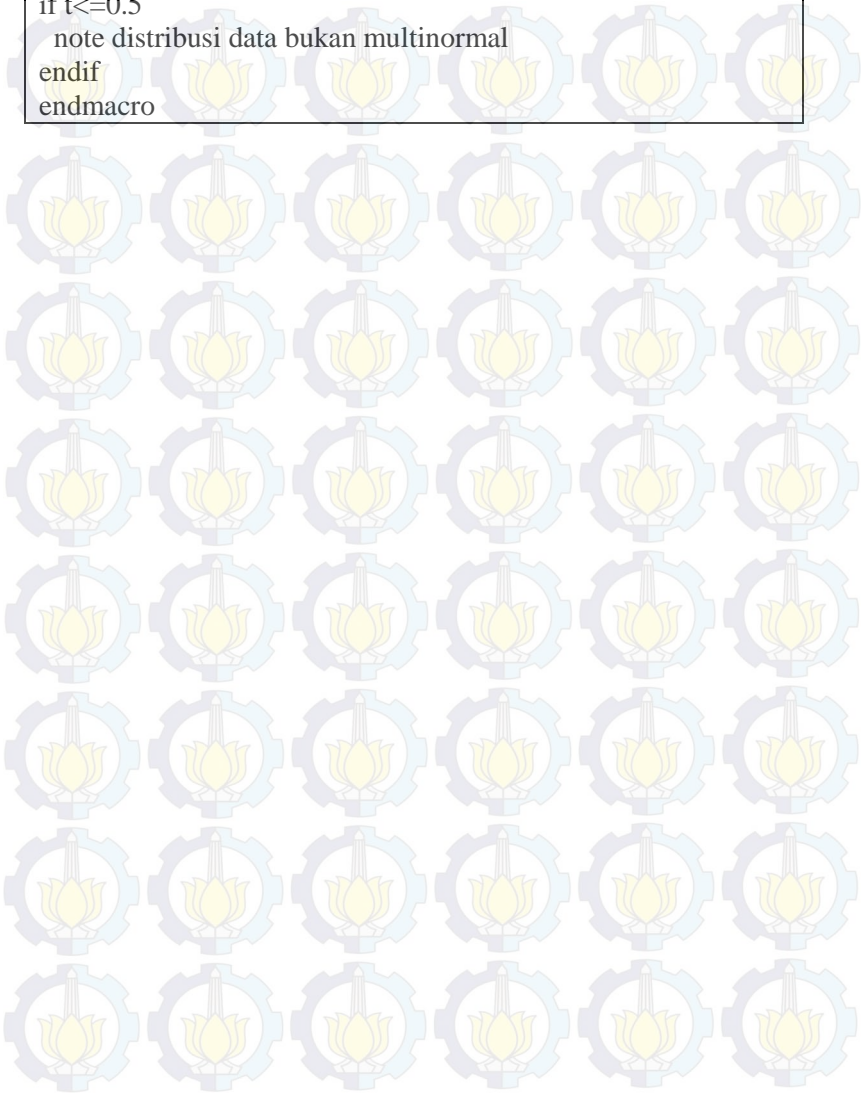
Lampiran 3 *Syntax Macro Minitab* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

```

macro
qq x.1-x.p
mconstant i n p t chis
mcolumn d x.1-x.p dd pi q ss tt
mmatrix s sinv ma mb mc md
let n=count(x.1)
cova x.1-x.p s
invert s sinv
do i=1:p
  let x.i=x.i-mean(x.i)
enddo
do i=1:n
  copy x.1-x.p ma;
  use i.
  transpose ma mb
  multiply ma sinv mc
  multiply mc mb md
  copy md tt
  let t=tt(1)
  let d(i)=t
enddo
set pi
  1:n
end
let pi=(pi-0.5)/n
sort d dd
invcdf pi q;
chis p.
plot q*dd
invcdf 0.5 chis;
chis p.
let ss=dd<chis
let t=sum(ss)/n
print t
if t>0.5

```

```
note distribusi data multinormal  
endif  
if  $t \leq 0.5$   
note distribusi data bukan multinormal  
endif  
endmacro
```



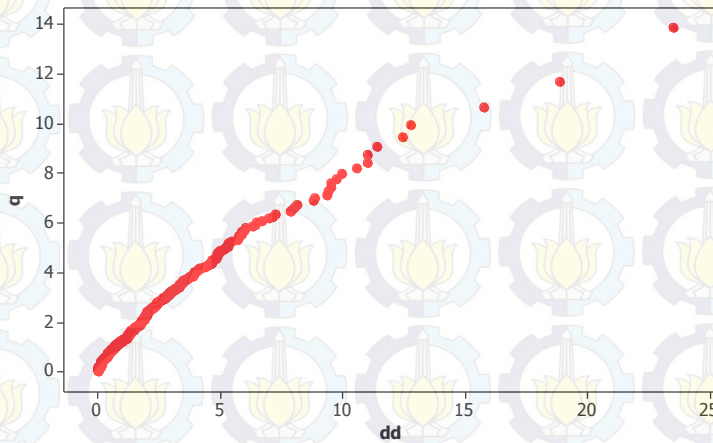
Lampiran 4 Output Macro Minitab Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Data Display

t 0,551587

distribusi data multinormal

Scatterplot of q vs dd



No	Nilai dj^2	No	Nilai dj^2	No	Nilai dj^2	No	Nilai dj^2
1	9,79	126	0,14	252	0,21	378	0,16
2	3,48	127	2,65	253	0,97	379	0,42
3	9,46	128	1,20	254	3,48	380	1,28
4	2,01	129	0,15	255	2,06	381	3,67
5	1,92	130	5,19	256	0,16	382	0,56
6	3,96	131	2,76	257	1,94	383	0,68
7	0,40	132	2,47	258	1,47	384	0,47
8	2,47	133	1,98	259	0,06	385	0,04
9	0,62	134	0,05	260	0,53	386	0,03

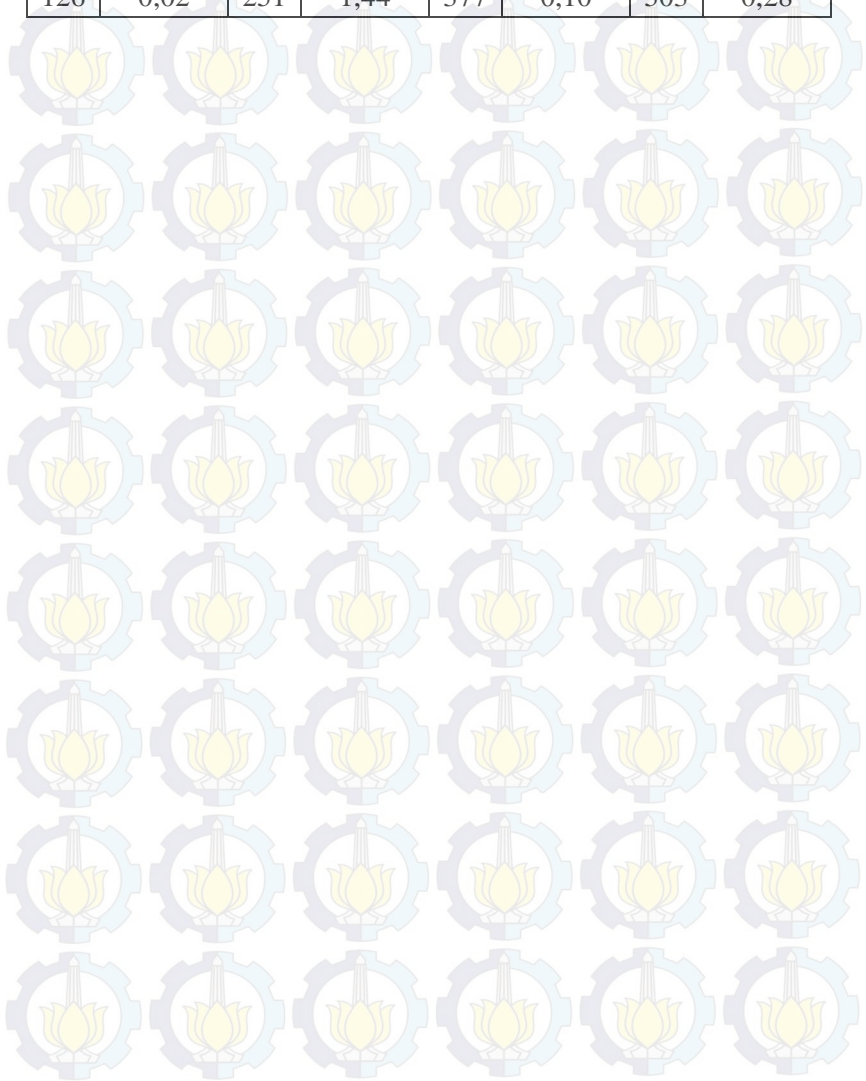
No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2
10	0,33	135	4,99	261	0,22	387	1,20
11	0,22	136	1,40	262	0,70	388	0,79
12	0,22	137	1,23	263	1,67	389	0,35
13	9,52	138	0,79	264	0,07	390	0,40
14	1,63	139	0,39	265	0,66	391	0,21
15	1,17	140	1,36	266	11,04	392	0,67
16	8,14	141	1,16	267	1,67	393	18,92
17	0,58	142	1,50	268	5,74	394	0,29
18	0,01	143	0,09	269	0,13	395	2,60
19	5,36	144	4,92	270	2,47	396	4,66
20	0,59	145	2,31	271	1,99	397	0,21
21	0,11	146	3,90	272	2,03	398	0,39
22	0,04	147	0,35	273	0,35	399	0,14
23	0,16	148	0,32	274	0,74	400	0,70
24	0,90	149	0,12	275	5,88	401	3,55
25	5,35	150	0,27	276	0,54	402	1,56
26	4,84	151	0,76	277	1,87	403	1,91
27	6,01	152	3,74	278	5,39	404	4,08
28	3,42	153	0,25	279	1,79	405	0,02
29	1,52	154	2,29	280	1,38	406	1,38
30	2,35	155	3,59	281	1,52	407	2,92
31	1,46	156	0,16	282	0,57	408	1,47
32	5,77	157	0,13	283	0,16	409	0,03
33	5,01	158	2,58	284	9,35	410	0,64
34	0,40	159	0,94	285	2,69	411	0,45
35	0,02	160	2,01	286	0,45	412	0,09
36	0,44	161	0,42	287	0,24	413	1,83
37	1,96	162	1,74	288	3,95	414	2,78
38	2,68	163	1,64	289	0,01	415	0,67

No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2
39	5,77	164	1,18	290	3,34	416	1,97
40	0,15	165	0,02	291	0,15	417	0,14
41	0,05	166	0,78	292	4,40	418	2,47
42	2,36	167	1,29	293	1,77	419	0,53
43	1,20	168	2,43	294	1,22	420	1,16
44	0,16	169	2,87	295	0,44	421	4,69
45	0,41	170	2,00	296	11,41	422	1,19
46	1,36	171	4,25	297	4,84	423	3,12
47	0,22	172	1,27	298	0,19	424	6,71
48	0,77	173	1,10	299	2,03	425	0,02
49	0,93	174	3,65	300	0,40	426	0,06
50	4,38	175	1,28	301	0,63	427	6,47
51	0,04	176	0,14	302	0,73	428	0,73
52	0,13	177	3,89	303	0,92	429	0,40
53	0,33	178	0,73	304	2,36	430	0,29
54	1,05	179	0,36	305	1,05	431	0,19
55	0,43	180	3,46	306	0,09	432	3,34
56	4,93	181	3,95	307	2,03	433	3,42
57	1,57	182	1,03	308	15,78	434	1,36
58	1,73	183	0,26	309	1,98	435	1,93
59	4,72	184	4,09	310	0,76	436	3,50
60	0,32	185	2,12	311	0,43	437	7,89
61	0,21	186	2,79	312	0,96	438	4,93
62	1,94	187	1,87	313	0,13	439	2,14
63	0,27	188	2,26	314	0,46	440	0,03
64	0,44	189	1,83	315	2,09	441	0,06
65	0,85	190	0,51	316	1,01	442	1,30
66	0,27	191	0,41	317	1,78	443	0,86
67	0,15	192	7,93	318	0,70	444	2,43

No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2
68	0,64	193	8,91	319	0,92	445	1,80
69	0,16	194	2,24	320	4,63	446	2,03
70	0,14	195	1,28	321	1,83	447	12,78
71	0,16	196	0,74	322	0,16	448	0,11
72	0,05	197	3,80	323	3,20	449	1,26
73	3,04	198	2,79	324	1,77	450	5,22
74	0,64	199	3,01	325	1,90	451	3,24
75	0,18	200	1,47	326	1,94	452	0,63
76	1,67	201	2,16	327	0,64	453	1,01
77	1,37	202	1,02	328	1,30	454	0,12
78	1,68	203	1,70	329	1,26	455	1,17
79	2,02	204	7,01	330	4,93	456	0,16
80	2,98	205	0,42	331	0,21	457	0,40
81	4,68	206	2,47	332	0,71	458	2,41
82	1,22	207	2,44	333	0,34	459	0,43
83	2,18	208	1,74	334	0,89	460	0,11
84	1,33	209	0,42	335	0,17	461	0,86
85	1,90	210	0,01	336	2,15	462	0,35
86	0,03	211	0,47	337	0,88	463	23,55
87	1,25	212	7,26	338	4,12	464	3,92
88	0,02	213	2,04	339	0,02	465	0,04
89	0,46	214	0,16	340	0,27	466	11,04
90	2,94	215	0,15	341	2,82	467	8,83
91	2,90	216	2,36	342	1,36	468	0,52
92	0,15	217	5,51	343	0,55	469	0,59
93	0,21	218	1,67	344	0,58	470	6,05
94	0,53	219	0,52	345	1,29	471	0,50
95	0,74	220	2,43	346	1,33	472	0,29
96	0,16	221	3,20	347	1,37	473	0,03

No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2	No	Nilai d_j^2
97	1,52	222	0,77	348	3,98	474	0,79
98	0,19	223	0,58	349	1,20	475	0,36
99	0,68	224	0,08	350	2,39	476	9,99
100	0,06	225	1,32	351	0,82	477	4,89
101	0,58	226	0,31	352	3,06	478	3,35
102	1,53	227	1,80	353	3,32	479	12,47
103	1,73	228	3,01	354	0,15	480	0,93
104	8,06	229	2,60	355	0,36	481	1,54
105	3,33	230	0,03	356	3,15	482	1,27
106	0,03	231	2,12	357	1,54	483	0,18
107	0,53	232	1,73	358	1,63	484	0,13
108	0,16	233	5,89	359	0,42	485	1,06
109	1,56	234	3,31	360	10,60	486	0,56
110	9,54	235	2,97	361	5,35	487	0,13
111	0,04	236	1,83	362	2,06	488	0,02
112	1,36	237	0,15	363	5,33	489	4,54
113	2,68	238	1,12	364	0,17	490	4,16
114	4,50	239	2,92	365	1,36	491	0,99
115	2,00	240	0,19	366	1,53	492	0,48
116	0,34	241	4,69	367	0,52	493	0,16
117	0,01	242	2,95	368	1,26	494	0,58
118	5,91	243	0,11	369	2,20	495	1,80
119	3,54	244	6,35	370	1,83	496	0,16
120	1,90	245	0,14	371	7,19	497	1,99
121	2,30	246	0,23	372	0,02	498	1,39
122	0,67	247	0,53	373	0,12	499	0,91
123	0,23	248	1,90	374	0,01	500	1,29
124	1,03	249	0,26	375	0,77	501	3,74
125	6,53	250	1,09	376	0,83	502	0,90

No	Nilai dj ²	No	Nilai dj ²	No	Nilai dj ²	No	Nilai dj ²
126	0,02	251	1,44	377	0,10	503	0,28



Lampiran 5 *Output* Uji Independensi Variabel

Correlations			
		H2O	MESH100
H2O	Pearson Correlation	1	-,220**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	504	504
MESH100	Pearson Correlation	-,220**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	504	504

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Lampiran 6 Output Pengujian Homogenitas Varians (Box's M)

a. Pengujian Perbedaan Shift

Box's Test of Equality of Covariance Matrices^a

Box's M	18,007
F	2,968
df1	6
df2	1697784,923
Sig.	,007

Tests the null hypothesis that the observed covariance matrices of the dependent variables are equal across groups.

a. Design: Intercept + perlakuan

b. Pengujian Perbedaan Fase

Box's Test of Equality of Covariance Matrices^a

Box's M	2,756
F	,915
df1	3
df2	63670106,401
Sig.	,433

Tests the null hypothesis that the observed covariance matrices of the dependent variables are equal across groups.

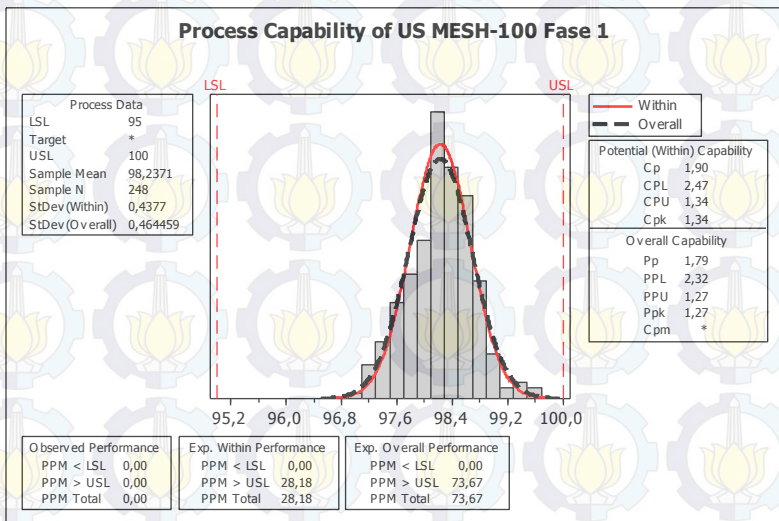
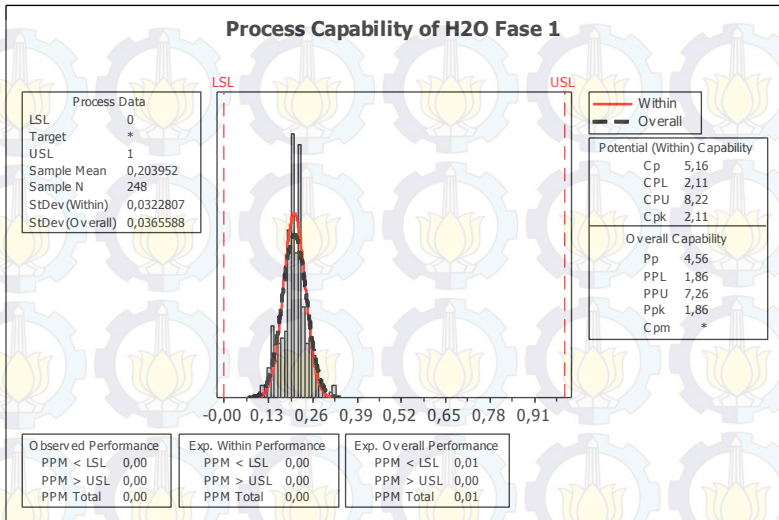
a. Design: Intercept + Fase

Lampiran 7 *Output* MANOVA

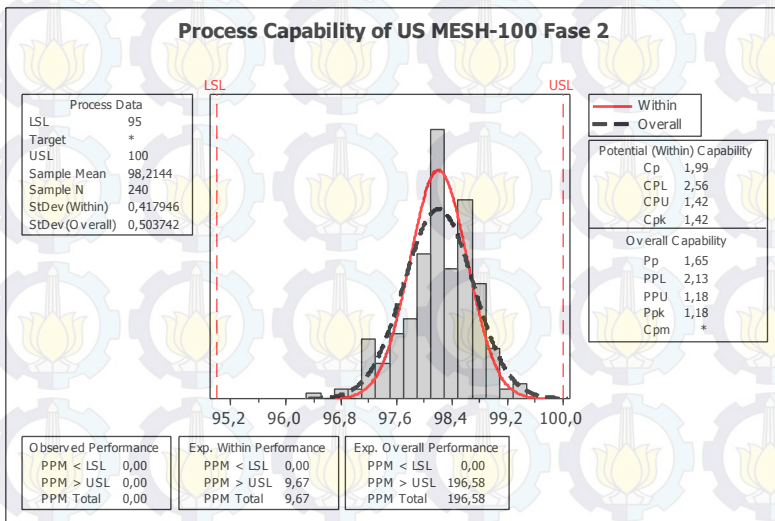
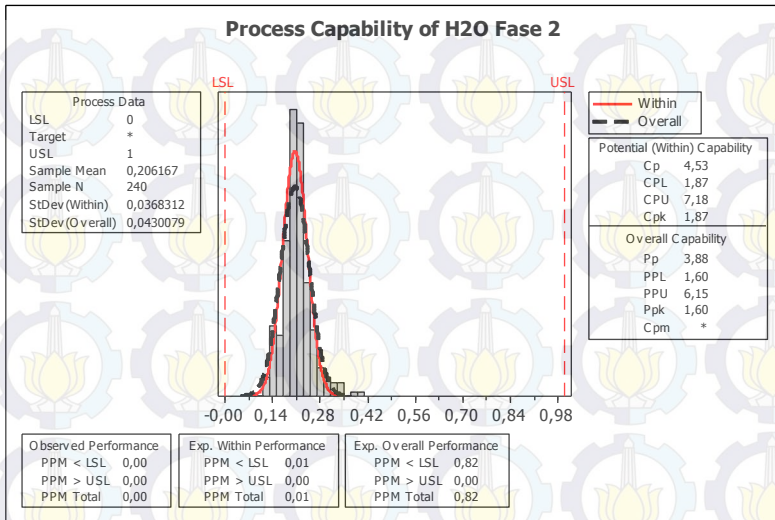
a. Pengujian Perbedaan *Shift*

Multivariate Tests ^a								
Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^d
Intercept	Pillai's Trace	1,000	560201 3,840 ^b	2,000	260,000	,000	11204027, 679	1,000
	Wilks' Lambda	,000	560201 3,840 ^b	2,000	260,000	,000	11204027, 679	1,000
	Hotelling's Trace	43092, 414	560201 3,840 ^b	2,000	260,000	,000	11204027, 679	1,000
	Roy's Largest Root	43092, 414	560201 3,840 ^b	2,000	260,000	,000	11204027, 679	1,000
perlakuan	Pillai's Trace	,039	2,564	4,000	522,000	,038	10,256	,724
	Wilks' Lambda	,962	2,571 ^b	4,000	520,000	,037	10,285	,725
	Hotelling's Trace	,040	2,578	4,000	518,000	,037	10,313	,727
	Roy's Largest Root	,036	4,728 ^c	2,000	261,000	,010	9,457	,787
a. Design: Intercept + perlakuan								
b. Exact statistic								
c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.								
d. Computed using alpha = .05								

Lampiran 8 Output Kapabilitas Proses



Lampiran 9 Output Kapabilitas Proses (Lanjutan)



BIODATA PENULIS



Dimas Fashihatin biasa dipanggil Dimas, merupakan anak bungsu dari 5 bersaudara. Penulis lahir di Gresik pada tanggal 22 Desember 1995. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu MI Al Hidayah Gosari (2001-2007), MTs Al Maarif 01 Singosari-Malang (2007-2010), SMA NU 1 Gresik (2010-2013), hingga akhirnya diterima sebagai mahasiswi D-III Statistika ITS dan terdaftar dengan NRP 1313030037. Selama menjadi mahasiswi, penulis banyak terlibat dalam kepanitian acara kampus, baik tingkat ataupun institut. Salah satu kepanitian tingkat jurusan dengan acara tingkat nasional yang diikuti pada tahun 2015 adalah Pekan Raya Statistika 2015, yaitu *big event* tahunan dari HIMADATA-ITS dan HIMASTA-ITS dengan 3 subkegiatan. Pada PRS 2015 penulis adalah sekretaris dari subkegiatan *Data Analysis Competition* (DAC). Penulis juga aktif di Ormawa Jurusan yaitu HIMADATA-ITS. Pada periode 2014/2015, penulis merupakan staff tim sekretaris HIMADATA-ITS dan periode 2015/2016 penulis berposisi sebagai sekretaris umum HIMADATA-ITS. Selain terlibat pada kepanitian acara kampus dan aktif di ormawa jurusan, penulis juga pernah menjadi peserta semifinal *National Statistics Challenge* (NSC) 2015. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan saran dan kritik tentang Tugas Akhir ini dapat disampaikan melalui email dimasfashihatin13@gmail.com.